

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 01/01665

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H02K21/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97 42699 A (HAN TAIXUN) 13 November 1997 (1997-11-13) abstract; figures 1-3 ---	1,3,7,15
A	MICHAEL BORK: "Entwicklung und Optimierung einer fertigungsgerechten Transversalflussmaschine, Diss 82, RWTH Aachen" 1997, SHAKER VERLAG, AACHEN XP002177923 cited in the application page 8, paragraph 3 -page 14, paragraph 1; figures 2.5,2.6 ---	1,5-8
A	DE 196 14 862 A (ABB DAIMLER BENZ TRANSP) 6 November 1997 (1997-11-06) figures 5-7 --- -/--	1,4-8



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 September 2001

Date of mailing of the international search report

19/10/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Flyng, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/01665

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 942 517 A (ABB DAIMLER BENZ TRANSP) 15 September 1999 (1999-09-15) abstract; figures 1,4,12 -----	1,5-8
A	DE 36 02 687 A (WEH HERBERT) 6 August 1987 (1987-08-06) figure 6 -----	11
A	US 5 747 898 A (YOSHIDA KENJI ET AL) 5 May 1998 (1998-05-05) Siehe Rotor aufbau figures 1,2 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International Application No
PCT/DE 01/01665

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9742699 A	13-11-1997	CN 2264438 U AU 5758596 A	08-10-1997 26-11-1997
DE 19614862 A	06-11-1997	AT 201538 T AU 2304197 A BR 9702142 A DE 19780317 D EP 0832511 A WO 9739515 A JP 11506600 T PL 323640 A	15-06-2001 07-11-1997 05-01-1999 23-07-1998 01-04-1998 23-10-1997 08-06-1999 14-04-1998
EP 0942517 A	15-09-1999	NONE	
DE 3602687 A	06-08-1987	DE 3676193 D WO 8702525 A EP 0243425 A	24-01-1991 23-04-1987 04-11-1987
US 5747898 A	05-05-1998	JP 6245465 A CN 1102935 A DE 69411818 D DE 69411818 T EP 0634831 A WO 9418742 A KR 169496 Y	02-09-1994 24-05-1995 27-08-1998 03-12-1998 18-01-1995 18-08-1994 15-03-2000

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts R. 37650-1 Kai/Wt	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 01/ 01665	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 04/05/2001	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 05/05/2000
Anmelder ROBERT BOSCH GMBH		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 3 Blätter.



Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.



Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das



in der internationalen Anmeldung in Schriftlicher Form enthalten ist.



zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.



bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.



bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.



Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.



Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der **Bezeichnung der Erfindung**



wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.



wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

5. Hinsichtlich der **Zusammenfassung**



wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.



wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 1



wie vom Anmelder vorgeschlagen



keine der Abb.



weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.



weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H02K21/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H02K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 97 42699 A (HAN TAIXUN) 13. November 1997 (1997-11-13) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 ---	1, 3, 7, 15
A	MICHAEL BORK: "Entwicklung und Optimierung einer fertigungsgerechten Transversalflussmaschine, Diss 82, RWTH Aachen" 1997, SHAKER VERLAG, AACHEN XP002177923 in der Anmeldung erwähnt Seite 8, Absatz 3 -Seite 14, Absatz 1; Abbildungen 2.5, 2.6 ---	1, 5-8
A	DE 196 14 862 A (ABB DAIMLER BENZ TRANSP) 6. November 1997 (1997-11-06) Abbildungen 5-7 --- -/-	1, 4-8



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

A Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. September 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Flyng, G

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 942 517 A (ABB DAIMLER BENZ TRANSP) 15. September 1999 (1999-09-15) Zusammenfassung; Abbildungen 1,4,12 ---	1,5-8
A	DE 36 02 687 A (WEH HERBERT) 6. August 1987 (1987-08-06) Abbildung 6 ---	11
A	US 5 747 898 A (YOSHIDA KENJI ET AL) 5. Mai 1998 (1998-05-05) Siehe Rotor aufbau Abbildungen 1,2 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

National Application No

PCT/DE 01/01665

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9742699 A	13-11-1997	CN 2264438 U AU 5758596 A	08-10-1997 26-11-1997
DE 19614862 A	06-11-1997	AT 201538 T AU 2304197 A BR 9702142 A DE 19780317 D EP 0832511 A WO 9739515 A JP 11506600 T PL 323640 A	15-06-2001 07-11-1997 05-01-1999 23-07-1998 01-04-1998 23-10-1997 08-06-1999 14-04-1998
EP 0942517 A	15-09-1999	NONE	
DE 3602687 A	06-08-1987	DE 3676193 D WO 8702525 A EP 0243425 A	24-01-1991 23-04-1987 04-11-1987
US 5747898 A	05-05-1998	JP 6245465 A CN 1102935 A DE 69411818 D DE 69411818 T EP 0634831 A WO 9418742 A KR 169496 Y	02-09-1994 24-05-1995 27-08-1998 03-12-1998 18-01-1995 18-08-1994 15-03-2000

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. November 2001 (15.11.2001)

PCT

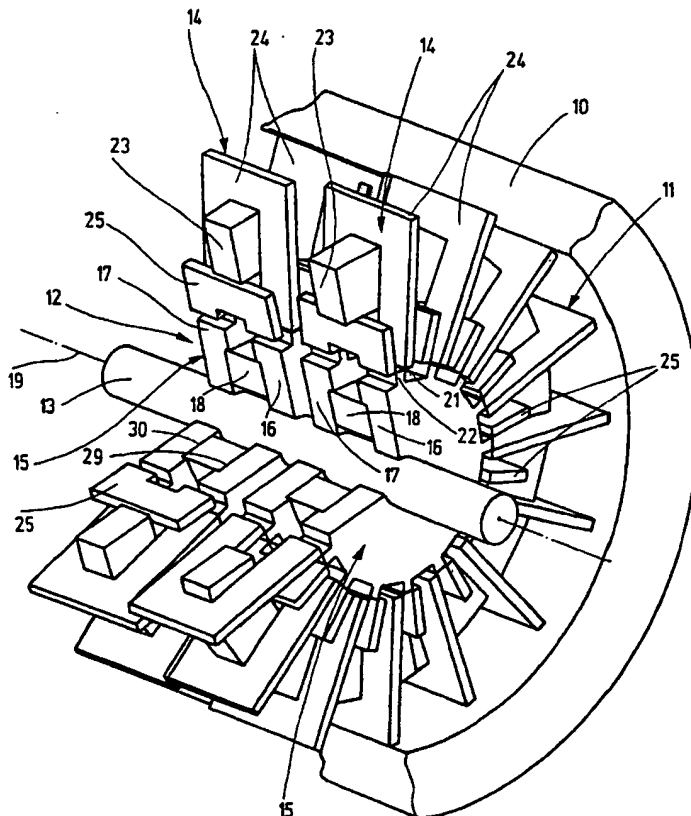
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/86785 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02K 21/14** (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/01665**
- (22) Internationales Anmeldedatum:
4. Mai 2001 (04.05.2001) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KASTINGER, Guenter** [DE/DE]; Buehnaeckerstr. 1, 76571 Gaggenau-Sulzbach (DE). **PAWELETZ, Anton** [DE/DE]; Becserstrasse 52, 70736 Fellbach (DE).
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** (81) Bestimmungsstaaten (national): **BR, IN, JP, KR, US.**
- (30) Angaben zur Priorität:
100 21 914.4 5. Mai 2000 (05.05.2000) DE (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
100 39 466.3 12. August 2000 (12.08.2000) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **UNIPOLAR TRANSVERSE FLUX MACHINE**

(54) Bezeichnung: **UNIPOLAR-TRANSVERSALFLUSSMASCHINE**



(57) Abstract: The invention relates to a unipolar transverse flux machine in which the stator (11) and the rotor (12) have the same number of identical stator modules (14) and rotor modules (15) in order to attain a modular construction that is advantageous with regard to manufacturing technology. The rotor modules (15) are mounted in an aligned manner on the rotor shaft (13), and the stator modules (14) are rotated in opposite directions around an angle of rotation inside the housing (10). The angle of rotation of two stator modules (14) is 90° electric and the angle of rotation of m stator modules (14) is 360°/m electric, whereby m is an integer greater than 2. Each stator module (14) comprises a ring coil (23), which is coaxial to the rotor axis (19), U-shaped stator yokes (24) that overlap said ring coil, and magnetic return elements (25) arranged between the stator yokes. Each rotor module (15) is comprised of two rotor rings (16, 17) with outer denticulation and with a permanent magnet ring (18), which is magnetized with unipolarity toward the rotor axis (19) and which is located between said rotor rings.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/86785 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Bei einer Unipolar-Transversalflussmaschine weist zur Erzielung eines fertigungstechnisch günstigen modularen Aufbaus der Stator (11) und der Rotor (12) eine gleiche Anzahl identischer Statormodule (14) und Rotormodule (15) auf, wobei die Rotormodule (15) miteinander fluchtend auf der Rotorwelle (13) festgesetzt und die Statormodule (14) im Gehäuse (10) um einen Drehwinkel gegeneinander verdreht sind. Der Drehwinkel beträgt bei zwei vorhandenen Statormodulen (14) 90° elektrisch und bei m vorhandenen Statormodulen (14) $360^\circ/m$ elektrisch, wobei m eine ganze Zahl und grösser 2 ist. Jedes Statormodul (14) weist eine koaxial zur Rotorachse (19) angeordnete Ringspule (23) und diese übergreifende U-förmige Statorjoche (24) sowie zwischen diesen angeordnete Rückschlusselemente (25) auf. Jedes Rotormodul (15) besteht aus zwei Rotorringen (16, 17) mit Aussenverzahnung und einem dazwischenliegenden, in Richtung der Rotorachse (19) unipolar magnetisierten Permanentmagnetring (18).

5

10

Unipolar-Transversalflußmaschine

15

Stand der Technik

20 Die Erfindung geht aus von einer Unipolar-Transversalflußmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einer bekannten Maschine dieser Art (EP 0 544 200 A1),
dort als Hybrid-Synchronmaschine mit Transversalmagnetfluß
25 (Hybrid Synchronous Machine with Transverse Magnetic Flux)
bezeichnet, weist die Zahnung eines jeden Rotorrings eine auf
dem von der Rotorachse abgekehrten Außenumfang des Rotorrings
sich erstreckende und eine auf dem der Rotorachse zugekehrten
Innenumfang des Rotorrings sich erstreckende Zahnreihe mit
30 gleicher Zahnteilung auf. Die Zahnreihen auf jedem Rotorring
sind dabei um eine Zahnteilung gegeneinander verschoben. Die

- Jochteilung am Stator entspricht der Zahnteilung einer inneren oder äußeren Zahnreihe, so daß immer ein äußerer Zahn des einen Rotorrings und ein innerer Zahn des anderen Rotorrings gleichzeitig unter einem Statorjoch liegen. Die
- 5 beiden aus jeweils zwei Rotorringen mit dazwischenliegendem, axial unipolar magnetisiertem Ringmagneten bestehenden Rotormodule sind an den in Achsrichtung des Rotors voneinander abgekehrten Seiten eines Rotorkörpers festgespannt, der am Gehäuse über Drehlager abgestützt ist.
- 10 Die vom Gehäuse aufgenommenen Statorjoch eines jeden Statormoduls sind U-förmig ausgebildet und übergreifen mit ihren parallel zur Rotorachse ausgerichteten Jochschenkeln die inneren und äußeren Zahnreihen der beiden Rotorringe der Rotormodule. Die konzentrisch zur Rotorachse angeordnete
- 15 kreisförmige Ringspule in jedem Statormodul durchläuft die Statorjoch im Jochgrund, liegt also im Bereich zwischen der vom Rotorkörper wegweisenden Ringfläche des äußeren Rotorrings und dem Quersteg der Statorjoch.
- 20 Transversalflußmaschinen mit Permanentmagnetanregung sind aus der Literatur bekannt, so "Michael Bork, Entwicklung und Optimierung einer fertigungsgerechten Transversalflußmaschine, Diss. 82, RWTH Aachen, Shaker Verlag Aachen, 1997, Seite 8 ff.". Die kreisförmig gewickelte
- 25 Statorwicklung wird von U-förmigen Jochen aus Weicheisen umschlossen, die in Drehrichtung im Abstand doppelter Polteilung angeordnet sind. Die offenen Enden dieser U-joch sind auf den Luftspalt zwischen Stator und Rotor gerichtet und bilden die Pole des Stators. Ihnen gegenüber sind
- 30 Permanentmagnetplättchen so angeordnet, daß die beiden Plättchen, die den Polen eines Statorjoches gegenüberliegen,

entgegengesetzte Polarität besitzen. Um die Permanentmagnete, die bei der Rotordrehung sich zeitweise zwischen den Polen des Stators befinden und keinen ferromagnetischen Rückschluß haben, kurzzuschließen, sind im Stator Rückschlußelemente 5 angeordnet. Diese verhindern, daß der Fluß der Permanentmagnete über die Jochschenkel und die Ringspule einstreut und durch Schwächung des Statorflusses die Wirksamkeit der Statorflußverkettung vermindert. Die Rückschlußelemente führen damit zu einer deutlichen 10 Leistungssteigerung der Maschine.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Unipolar-Transversalflußmaschine hat den 15 Vorteil einer einfachen Konstruktion in Modulbauweise, mit der jede gewünschte Strängigkeit der Maschine durch Hinzunahme oder Wegfall identisch ausgebildeter Stator- und Rotoreinheiten realisiert, d. h. modular aufgebaut, werden kann. Mit zunehmender Zahl der aus jeweils einem Statormodul 20 und einem Rotormodul sich zusammensetzenden Moduleinheiten verbessert sich der Rundlauf der Maschine und ein zunächst schrittschaltähnliches Verhalten der Maschine geht in einem kontinuierlichen Rundlauf ohne Rippel im Momentenverlauf über. Da das Gesamtmoment der Maschine die Summe der 25 Momentenanteile der Moduleinheiten ist, kann das Gesamtmoment der Maschine in einfacher Weise an bestehende Anforderungen problemlos angepaßt werden.

Gegenüber herkömmlichen Transversalflußmaschinen hat die 30 erfindungsgemäße Unipolar-Transversalflußmaschine den Vorteil einer einfachen, unipolaren Magnetisierung des Rotors und

- einer einfachen Konstruktion durch Vermeiden der Vielzahl von einzelnen Permanentmagneten. Der in der Statorwicklung erzeugte Fluß geht primär nicht mehr durch die Permanentmagnete sondern durch die Zähne der Rotorringe und
- 5 schließt sich über die Rückschlußelemente, so daß die Zähne besser ausgenutzt werden. Es entstehen bessere Verhältnisse der Flußführung, und der Gesamtanteil des Streuflusses wird geringer. Außerdem dienen die Rückschlußelemente zur
- 10 Erzeugung eines Gegenpols im Stator, so daß man im Stator und Rotor dieselbe Polzahl erhält. Die Ringspule, deren nach außen gerichtete Abschnitte zwischen den Statorjochen eine verhältnismäßig große Fläche besitzt, läßt sich gut kühlen, so daß hohe Stromdichten in der Ringspule erreichbar sind.
- 15 Durch die in den weiteren Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im Patentanspruch 1 angegebenen Unipolar-Transversalflußmaschine möglich.
- 20 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weisen die Rückschlußelemente C-Form mit zwei jeweils einem Rotorring radial gegenüberliegenden kurzen Schenkeln und einem diese miteinander verbindenden Quersteg auf, der sich auf der der Rotorachse zugekehrten Innenseite der kreisförmig
- 25 ausgebildeten Ringspule parallel zur Rotorachse erstreckt.
- Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung sind die Rückschlußelemente identisch den Statorjochen ausgebildet und weisen U-form mit zwei jeweils einem Rotorring radial
- 30 gegenüberliegenden langen Schenkeln und einem diese miteinander verbindenden parallel zur Rotorachse sich

erstreckenden Quersteg auf. Die Ringspule des Statormoduls ist in der Radialebene punktsymmetrisch zur Rotorachse mäanderförmig derart geformt, daß sie aufeinanderfolgend abwechselnd zwischen den Jochschenkeln eines Statorjoches hindurch und über die von der Rotorachse abgekehrte Außenseite eines Rückschlußelements hinweg verläuft. Dies hat den Vorteil, daß für Joche und Rückschlußelemente das gleiche Werkzeug verwendet werden kann und dadurch mit dem gleichen Werkzeug höhere Stückzahlen gefertigt werden können. Die Ringspule läßt sich relativ einfach in die Mäanderform bringen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist jedes Statormodul in einem aus zwei Halbschalen bestehenden Gehäuse aufgenommen, die identisch ausgebildet und spiegelsymmetrisch aufeinandergesetzt sind und miteinander axial fluchtende Radialnuten zum Einstecken der Statorjoche und Rückschlußelemente sowie spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegende, konzentrisch zur Gehäuseachse ausgerichtete Vertiefungen zur Aufnahme der Ringspule aufweisen. Dadurch wird eine selbsttragende Statorkonstruktion mit identischen Bauteilen und einfacher Fügetechnik erreicht, die für eine hochautomatisierte Großserienproduktion bestens geeignet ist. Die selbsttragende und selbsthaltende Funktion mit exakter Positionierung der Statormodulelemente (Statorjoche, Rückschlußelemente, Ringspule) ist nicht nur auf das einzelne Statormodul beschränkt, sondern wird auch für die Positionierung weiterer Statormodule zueinander und für die Kraft- bzw. Momentübertragung verwendet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besitzt jede Halbschale eine gitterartige Struktur mit einem Innenring und einem dazu konzentrischen Außenring. Beide Ringe sind durch Radialstege einstückig miteinander verbunden. Die die Rückschlußelemente aufnehmenden Radialnuten sind im Innenring eingebracht, während sich die die Statorjoche aufnehmenden Radialnuten über Innenring, Radialsteg und Außenring erstrecken. Diese Gitterstruktur mit zwischen den Radialstegen liegenden Öffnungen ermöglicht eine intensive Wärmeübergabe von den aktiven magnetischen und elektrischen Statorelementen auf das Kühlmedium Luft und damit eine intensive Wärmeabgabe zu der Umgebung.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Statorjoche und die sie aufnehmenden Radialnuten in Form und Abmessungen so aufeinander abgestimmt, daß bei in die Radialnuten eingesetzten Statorjochen die beiden Halbschalen aneinander radial und axial unverschieblich fixiert sind. Damit haben die Statorjoche zwei Funktionen, nämlich zum einen die der magnetische Flußführung und zum andern die einer mechanischen Klammer, welche die Halbschale zusammenhalten und richtig positionieren.

Zur Realisierung der mechanischen Klammerfunktion weisen die Statorjoche nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung an beiden Seiten ihres Querstegs jeweils einen vorspringenden Haken auf, der bei in die Radialnuten eingesetzten Statorjochen einen Radialsteg der beiden Halbschalen auf dessen von der Radialnut abgekehrten Rückseite formschlüssig übergreift.

Bei einer mehrsträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine, bei welcher die Rotormodule axial fluchtend auf der Rotorwelle angeordnet und die Statormodule gegeneinander um einen festen Winkel verdreht sind, der bei 5 zweisträngiger Ausführung 90° elektrisch und bei m strängiger Ausführung $360^\circ/m$ elektrisch mit $m > 2$ beträgt, sind in den in den Radialstegen sich erstreckenden Ringabschnitten des Außenrings der Halbschalen von der von den Radialnuten abgekehrten Außenseiten der Halbschale aus zwei voneinander 10 beabstandete Radialausparungen eingebracht, deren Breite in Umfangsrichtung der Breite der vorspringenden Haken und deren radiale Tiefe der axialen Tiefe der Wurzel der vorspringenden Haken entspricht. Zum spiegelsymmetrischen Aufeinandersetzen der beiden identischen Halbschalen ist die eine 15 Radialausnehmung im Ringabschnitt um den festen Winkel zu der nachfolgenden Radialnut für ein Statorjoch und die andere Radialausnehmung um den gleichen festen Winkel zu der vorausgehenden Radialnut für ein Statorjoch versetzt angeordnet. In eine dieser Radialausnehmungen pro 20 Ringabschnitt dringen die vorspringenden Haken des benachbarten Statormoduls ein und gewährleisten den erforderlichen Drehwinkelversatz zwischen benachbarten Statormodulen.

25 In einer alternativen Ausführungsform der mehrsträngigen Ausführung fluchten die Statormodule axial, während die Rotormodule um einen gleichen wie vorstehend definierten festen Winkel gegeneinander verdreht auf der Rotorwelle angeordnet sind. Bei einer solchen Ausbildung der 30 mehrsträngigen Maschine entfallen die vorstehend beschriebenen Radialausnehmungen im Außenring und die

Statorjoche der in Achsrichtung nebeneinanderliegenden Statormodule sind in ihrem Querstegbereich durch axial sich erstreckende Brücken miteinander verbunden. Die beiden außenliegenden Statorjoche der miteinander verbundenen Statorjoche weisen auf ihrer äußeren Seite jeweils einen vom Quersteg vorspringenden Haken auf, der bei in die Radialnuten eingesteckten Statorjochen einen Radialsteg der beiden Halbschalen auf dessen von der Radialnut abgekehrten Rückseite übergreift. Die miteinander verbundenen Statorjoche mit den dazwischenliegenden Brücken sind vorzugsweise als einstückige Stanzteile ausgeführt.

Zeichnung

Die Erfindung ist anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ausschnittsweise eine perspektivische Ansicht einer zweisträngigen, 32-poligen Unipolar-Transversalflußmaschine, teilweise schematisiert,

Fig. 2 eine Draufsicht einer Moduleinheit einer 8-poligen Unipolar-Transversalflußmaschine, schematisch dargestellt,

Fig. 3 einen Schnitt längs der Linie III - III in Fig. 2,

- Fig. 4 jeweils eine schematisch dargestellte
und Draufsicht einer zweisträngigen, 8-poligen
Fig. 5 Unipolar-Transversalflußmaschine in zwei
5 unterschiedlichen Drehstellungen des Rotors,
zur Erläuterung der Funktionsweise,
- Fig. 6 ein Diagramm der Bestromung des Stators der
beiden Moduleinheiten der zweisträngigen
Unipolar-Transversalflußmaschine,
10
- Fig. 7 jeweils ein Diagramm des Momentenverlaufs in
den beiden Rotormodulen und des Verlaufs des
Gesamtmoments an der Rotorwelle,
- 15 Fig. 8 ausschnittsweise eine perspektivische
Darstellung einer Abwicklung einer
Moduleinheit mit einer modifizierten
Statorwicklung,
- 20 Fig. 9 eine perspektivische Explosionsdarstellung
eines ein Statormodul aufnehmenden Gehäuses
für eine einsträngige, 32-polige Unipolar-
Transversalflußmaschine,
- 25 Fig. 10 eine Draufsicht eines Statorjochs zur
Verwendung in dem Gehäuse in Fig. 9,
- Fig. 11 eine Draufsicht zweier miteinander
verbundener, axial fluchtender Statorjochs für
30 eine zweisträngige Unipolar-Transversal-
flußmaschine,

Fig. 12 ausschnittsweise eine Draufsicht eines am Gehäuse zu befestigenden Lagerschilds zur Drehlagerung der Rotorwelle,

5

Fig. 13 ausschnittsweise eine vereinfachte Darstellung einer Moduleinheit einer als Hohlwellenversion ausgeführten 16-poligen Unipolar-Transversalflußmaschine.

10

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die in der Zeichnung in verschiedenen Ansichten und Schnitten schematisiert dargestellte Unipolar-Transversalflußmaschine weist ein Maschinengehäuse 10 mit einem daran gehaltenen Stator 11 sowie einen im Stator 11 umlaufenden Rotor 12 auf, der drehfest auf einer im Maschinengehäuse 10 gelagerten Rotorwelle 13 sitzt. Der Rotor 12 weist mehrere Rotormodule 15 und der Stator 11 eine gleiche Anzahl von Statormodulen 14 auf. Die Rotormodule 15 sind axial hintereinander unmittelbar auf die Rotorwelle 13 drehfest aufgesetzt, und die Statormodule 14 sind axial hintereinander in radialer Ausrichtung zum zugehörigen Rotormodul 15 am Maschinengehäuse 10 befestigt. Die Anzahl der jeweils ein Statormodul 14 und ein Rotormodul 15 umfassenden Moduleinheiten ist bestimmt durch die gewählte Strängigkeit der Unipolar-Transversalflußmaschine, die in den beschriebenen Ausführungsbeispielen zweisträngig ist und demzufolge zwei Moduleinheiten besitzt. Sie kann aber auch einsträngig oder drei- oder mehrsträngig ausgeführt werden. Die Statormodule 14 und die Rotormodule 15 und damit die Moduleinheiten sind

30

identisch ausgebildet, so daß die Unipolar-
Transversalflußmaschine eine modulare Bauweise aufweist und
durch Hinzufügen oder Verringern von Moduleinheiten
problemlos an bestehende Anforderungen bezüglich der Leistung
5 und des Drehmoments angepaßt werden kann.

Das Rotormodul 15 besteht aus zwei koaxialen, gezahnten,
ferromagnetischen Rotorringen 16, 17, die auf der Rotorwelle
13 sitzen und zwischen sich einen Permanentmagnetring 18
10 einspannen, der in axialer Richtung, also in Richtung der
Rotor- oder Gehäuseachse 19 unipolar magnetisiert ist. In
Fig. 3 ist beispielhaft die Magnetisierung des
Permanentmagnetrings 18 angegeben und der vom
Permanentmagnetring 18 erzeugte Magnetfluß 20 strichliniert
15 eingezeichnet. Zur Optimierung des Gesamtstreufußverlaufs
und einer besseren Ausnutzung des Permanentmagnetrings 18 ist
letzterer mit seinen ringförmigen Stirnflächen in je einer
zentralen, axialen Vertiefung 29 bzw. 30 in den einander
zugekehrten Seitenflächen der Rotorringe 16, 17 aufgenommen.
20 Jeder Rotorring 16, 17 ist an seinem von der Rotorachse 19
abgekehrten Außenumfang mit konstanter Zahnteilung gezahnt,
so daß die durch jeweils eine Zahnücke 21 voneinander
getrennten Zähne 22 der sich ergebenden Zahnreihe einen
gleichen Drehwinkelabstand voneinander haben. Die Zähne 22 am
25 Rotorring 16 und am Rotorring 17 fluchten in Axialrichtung
miteinander. Die Rotorringe 16, 17 mit den daran einstückig
angeformten Zähnen 22 sind lamelliert und werden bevorzugt
aus gleichen Blechstanzschnitten, die in Achsrichtung
aneinanderliegen, zusammengesetzt.

Das das Rotormodul 15 mit Radialabstand konzentrisch umschließende Statormodul 14 weist eine coaxial zur Rotorachse 19 angeordnete Ringspule 23 sowie die Ringspule 23 übergreifende U-förmige Statorjoche 24 auf. Die ebenfalls
5 lamellierten, aus Stanzblechen zu Blechpaketen zusammengesetzten Statorjoche 24 sind hier am Maschinengehäuse 10 mit einer der Zahnteilung am Rotormodul 15 entsprechenden Jochteilung festgelegt, so daß sie den gleichen Drehwinkelabstand voneinander haben, wie die Zähne
10 22 der Rotorringe 16, 17. Die Statorjoche 24 sind hier so angeordnet, daß jeweils der eine Jochschenkel 241 mit dem einen Rotorring 16 und der andere Jochschenkel 242 mit dem anderen Rotorring 17 des zugeordneten Rotormoduls 12 radial fluchtet, wobei die Polflächen bildenden freien Stirnflächen
15 244 der Jochschenkel 241, 242 dem Rotorring 16 bzw. 17 mit radialem Spaltabstand gegenüberstehen (vgl. Fig. 1 und 3). Im Ausführungsbeispiel weisen die Stirnflächen 244 eine gleiche axiale Breite wie die Rotorringe 16, 17 auf. Vorteilhaft sind aber auch über die Rotorringe 16, 17 ein- oder beidseitig
20 axial überstehende Stirnflächen 244 der Jochschenkel 241, 242. Zwischen den in Drehrichtung des Rotors 12 aufeinanderfolgenden Statorjochen 24 ist jeweils ein Rückschlußelement 25 angeordnet. Die ebenfalls lamellierten, als Blechpakete hergestellten Rückschlußelemente 25 haben den
25 gleichen Drehwinkelabstand voneinander wie die Statorjoche 24 und sind gegenüber den Statorjochen 24 um eine halbe Jochteilung versetzt bzw. eine Polteilung τ angeordnet. Die Rückschlußelemente 25 erstrecken sich parallel zur Rotorachse 19 bis über beide Rotorringe 16, 17 und stehen diesen mit dem
30 gleichen radialen Spaltabstand gegenüber wie die Statorjoche 24. Die in Drehrichtung gemessenen Breite der

Rückschlußelemente 25 ist etwa gleich groß wie die in Drehrichtung gemessene Breite der Statorjoche 24, während die in Drehrichtung gemessene Breite der Zähne 22 an den Rotorringen 16, 17 kleiner als die Polteilung τ ist.

5

Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, ist die auch als Rotorzahnbreite b_{ZR} bezeichnete Breite der Zähne 22 an den Rotorringen 16, 17 im Vergleich zu der als Statorzahnbreite b_{ZS} bezeichneten Breite der Statorjoche 24 und

10 Rückschlußelemente 25 wesentlich größer bemessen, und zwar so, daß das Verhältnis der Rotorzahnbreite b_{ZR} zur Statorzahnbreite b_{ZS} größer als 1 und kleiner als 2 ist. Die obere Grenze wird dabei vorzugsweise niedriger gehalten und beispielsweise gleich oder kleiner 1,5 gewählt. Ein
15 verbessertes Maschinenverhalten kann erreicht werden, z.B. die Welligkeit von Momentrippeln geglättet werden, wenn die Statorjoche 24 und Rückschlußelemente 25 nicht exakt um eine Polteilung τ versetzt angeordnet sind, sondern ihr Abstand von der Polteilung τ differiert.

20

In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 - 5 haben die Rückschlußelemente 25 C-Form mit zwei jeweils einem Rotorring 16, 17 radial gegenüberliegenden kurzen Schenkeln 251, 252 und einem diese miteinander verbindenden Quersteg 253, der
25 sich auf der der Rotorachse 19 zugekehrten Innenseite der kreisförmig ausgebildeten Ringspule 23 parallel zur Rotorachse 19 erstreckt. Durch diese Ausbildung der Rückschlußelemente 25 und der Statorjoche 24 durchläuft die kreisförmige Ringspule 23 die Statorjoche 24 am
30 Jochschenkelgrund und läuft dazwischen über jeweils ein Rückschlußelement 25 hinweg. Die axiale Breite der

Stirnfläche 254 der Schenkel 251, 252 ist hier gleich der axialen Breite der Rotorringe 16, 17 ausgeführt. Die Schenkel 251, 252 können aber auch axial über die Rotorringe 16, 17 überstehen.

5

Wie in Fig. 1 perspektivisch dargestellt und in Fig. 4 und 5 schematisch skizziert ist, sind bei der zweisträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine die beiden axial nebeneinander auf der Rotorwelle 13 sitzenden Rotormodule 15 der beiden Moduleinheiten miteinander fluchtend ausgerichtet und die beiden im Maschinengehäuse 10 axial nebeneinander angeordneten Statormodule 14 der beiden Moduleinheiten um 90° elektrisch gegeneinander verdreht, was einer halben Polteilung τ entspricht. Bei der in Fig. 4 und 5 dargestellten 8-poligen Ausführung der Maschine entspricht dieser Versatz einem Drehwinkel von $22,5^\circ$ und bei der in Fig. 1 dargestellten 32-poligen Ausführung der Maschine einem Versatzwinkel in Drehrichtung von $5,625^\circ$. Alternativ ist es möglich, die beiden Statormodule 14 in Achsrichtung miteinander fluchtend auszurichten und die auf der Rotorwelle 13 sitzenden Rotormodule 15 um den genannten elektrischen Winkel von 90° gegeneinander zu verdrehen.

Die Wirkungsweise der Maschine ist in der Betriebsart als Motor nachfolgend anhand der Fig. 4 - 7 erläutert. In Fig. 4 und 5 ist dabei die zweisträngige Maschine in Draufsicht schematisch dargestellt, wobei das Statormodul 14 der in Draufsicht hinter der vorderen Moduleinheit liegenden Moduleinheit im Durchmesser vergrößert dargestellt ist, um es sichtbar zu machen. Die beiden auf der Rotorwelle 13 drehfest sitzenden, den Rotor 12 bildenden Rotormodule 15 der

25

30

Moduleinheiten fluchten miteinander, so daß nur das Rotormodul 15 der in Draufsicht vorderen Moduleinheit zu sehen ist. Fig. 4 und 5 zeigen eine gleiche Darstellung der Maschine in zwei unterschiedlichen Drehstellungen des Rotors 12. In Fig. 6 ist ein Diagramm der Bestromung der beiden Ringspulen 23 in den beiden Statormodulen 14 in Abhängigkeit von der Drehstellung θ des Rotors 12 dargestellt. Jede Ringspule 23 wird bipolar bestromt, also abwechselnd mit einem positiven und einem negativen Stromimpuls beispielsweise mit gleicher Amplitude beaufschlagt, wobei die Stromimpulse in den beiden Ringspulen 23 der Statormodule 14 um 90° gegeneinander phasenverschoben sind.

In Fig. 4 ist bei einer Drehstellung des Rotors 12 unter einem Drehwinkel θ_1 die Ringspule 23 mit einem positiven Stromimpuls beaufschlagt. Die momentane Stromrichtung in der Ringspule 23 ist in Fig. 4 durch den der Ringspule 23 zugeordneten Pfeil 26 symbolisiert. Dieser Strom erzeugt einen Statorfluß über die Statorjoche 24, den Zähnen 22 der Rotorringe 16,17 und den Rückschlußelementen 25, wie er in Fig. 4 für ein Statorjoch 24, einen Zahn 22 und ein Rückschlußelement 25 durch Pfeil 27 angedeutet ist. Der Statorfluß 27 verläuft dabei radial in dem einen Jochschenkel 241 zu dem diesen gegenüberstehenden Zahn 22 und schließt sich über das Rückschlußelement 25, dem zweiten Jochschenkel 242 und dem Quersteg 243 (hier nicht zu sehen) des Statorjochs 24. Der Magnetfluß 20, der, wie Fig. 3 zeigt, im Rotorring 16 in Radialrichtung nach außen und im Rotorring 17 radial nach innen gerichtet ist, ist in Fig. 4 und 5 durch Pfeile 20 symbolisiert. An dem dargestellten Flußverlauf sieht man deutlich, daß der Magnetfluß 20 dem Ständerfluß 27

im Bereich der Statorjoche 24 entgegengerichtet und im Bereich der Rückschlußelemente 25 gleichgerichtet ist. Demzufolge werden die Zähne 22 von den Statorjochen 24 abgestoßen und von den Rückschlußelementen 25 angezogen, so daß sich der Rotor 12 in Pfeilrichtung 27 um einen Winkelschritt dreht. Bei gleicher, um 90° phasenverschobener Bestromung der Ringspule 23 in dem zweiten Statormodul 14 läuft der gleiche Prozeß ab, und der Rotor 12 wird um einen gleichen Drehwinkel gedreht, so daß er sich insgesamt um einen Drehwinkel θ_2 (Fig. 5) gedreht hat. Nunmehr wird die Stromrichtung des Stromimpulses in der Ringspule 23 invertiert, was durch den der Ringspule 23 zugeordneten Pfeil 26 in Fig. 5 symbolisiert ist. Bei unverändertem Magnetfluß 20 ändert sich der Statorfluß in der durch Pfeil 27 in Fig. 5 angedeuteten Weise. Infolgedessen werden die Zähne 22 des Rotors 12 von den Statorjochen 24 angezogen und von den Rückschlußelementen 25 abgestoßen, und der Rotor 12 bewegt sich in gleiche Drehrichtung 28 weiter. Um 90° phasenverschoben werden dann die der Ringspule 23 im zweiten Statormodul 14 zugeführten Stromimpulse invertiert, und der gleiche Vorgang läuft wieder ab. Wie das Bestromungsmuster der beiden Statormodule 14 in Fig. 6 zeigt, wird der beschriebene Vorgang über den gesamten Drehwinkel θ von 360° des Rotors 12 fortgesetzt, so daß der Rotor 12 umläuft.

In Fig. 7 sind die an der Rotorwelle 13 anstehenden Drehmomente über den Drehwinkel θ des Rotors 12 dargestellt. Die beiden oberen Diagramme zeigen den Verlauf der Drehmomente, wie sie von jedem der beiden Moduleinheiten anteilig geliefert werden. Das untere Diagramm in Fig. 7 zeigt das an der Rotorwelle 13 abnehmbare Gesamtdrehmoment,

das sich aus der Addition der von den beiden Moduleinheiten erzeugten der Einzelmomente ergibt. Wie aus Fig. 7 zu erkennen ist, schwankt das Drehmoment M über den Drehwinkel θ , so daß der Drehmomentenverlauf mit einem unerwünschten Rippel versehen ist. Diesen Rippel kann man weniger merkbar machen, wenn einerseits die Polzahl der Maschine erhöht und andererseits die Anzahl der Moduleinheiten der Maschine und damit die Anzahl der Stränge vergrößert wird. Als elektrisch und fertigungstechnisch günstig hat sich dabei die in Fig. 1 dargestellte 32-polige Ausführung der Maschine erwiesen.

Die im Ausführungsbeispiel beschriebene zweisträngige Maschine kann mit mehr als zwei Strängen ausgeführt werden. Ist die Anzahl m der Stränge und damit die Anzahl der räumlich parallel angeordneten Moduleinheiten mit auf einer gemeinsamen Rotorwelle 13 sitzenden identischen Rotormodulen eine ganze Zahl größer als 2, so sind die am Stator 11 axial hintereinander angeordneten Statormodule 14 um einen elektrischen Winkel von $360^\circ/m$ gegeneinander zu verschieben, bei einer dreisträngigen Maschine mit drei Moduleinheiten also um 120° elektrisch.

In den Ausführungsbeispielen der Unipolar-Transversalflußmaschine gemäß Fig. 1 - 5 ist die Ringspule 23 kreisförmig ausgeführt und konzentrisch zur Rotorachse 19 angeordnet. Dies erfordert eine unterschiedliche geometrische Ausbildung der Statorjoche 24 und der Rückschlußelemente 25. In einer alternativen Ausführungsform einer Moduleinheit, wie sie in Fig. 8 perspektivisch ausschnittsweise als Abwicklung dargestellt ist, sind die Rückschlußelemente 25' identisch wie die Statorjoche 24 ausgebildet. Die Statorjoche 24 sind

hier nur schematisch dargestellt und in ihren Proportionen nicht den Proportionen der Zähne 22 der Rotorringe 16,17 angepaßt, wie dies beispielsweise in Fig. 4 und 5 der Fall ist. Wie die Statorjoche 24 haben die Rückschlußelemente 25' U-Form mit zwei jeweils einem Rotorring 16 bzw. 17 radial gegenüberliegenden langen Schenkeln 251' und 252' und einem diesen miteinander verbindenden, parallel zur Rotorachse 19 sich erstreckenden Quersteg 253'. Die Ringspule 23', die zur Erzeugung des Statorflusses einerseits durch die Statorjoche 24 hindurch und andererseits über die Querstege 253' der Rückschlußelemente 25' hinweggeführt werden muß, ist demzufolge in der Radialebene punktsymmetrisch zur Rotorachse 19 mäanderförmig geformt, so daß sie einerseits an der zur Rotorachse 19 hin gerichteten Innenseite der Querstege 243 der Statorjoche 24 und andererseits an der von der Rotorachse 19 abgekehrten Außenseite der Querstege 253' der Rückschlußelemente 25' verläuft.

Jedes der vorstehend beschriebenen Statormodule 14 ist als selbsttragende Konstruktion ausgeführt und ist hierzu in einem aus zwei Halbschalen 31, 32 bestehenden Gehäuse 30 aufgenommen. Die beiden Halbschalen 31,32 sind identisch ausgebildet und spiegelsymmetrisch aufeinandergesetzt, wie dies aus der Explosionsdarstellung in Fig. 9 ersichtlich ist. Jede Halbschale 31, 32 weist eine gitterartige Struktur mit einem Innenring 33 und einem dazu konzentrischen Außenring 34 auf, die durch Radialstege 35 einstückig miteinander verbunden sind. In den Halbschalen 31, 32 sind einerseits Radialnuten 36 zur Aufnahme der Statorjoche 24, die sich über Innenring 33, Radialsteg 35 und Außenring 34 erstrecken, sowie andererseits Radialnuten 37 zum Einstecken der

Rückschlußelemente 25 ausgebildet, die sich nur über den Innenring 33 erstrecken. Die Anzahl der Radialnuten 36, 37 insgesamt entspricht der Anzahl der Statorelemente (Statorjoche und Rückschlußelemente) und beträgt im Ausführungsbeispiel der Fig. 9 für eine 32-polige Unipolar-Transversalflußmaschine zweiunddreißig. Die Breite der Radialnuten 36, 37 ist dabei auf die Dicke der Statorjoche 24 bzw. Rückschlußelemente 25 abgestimmt, und die axiale Tiefe der Radialnuten 36, 37 ist geringfügig größer bemessen als die halbe axiale Breite der Statorjoche 24 bzw. der Rückschlußelemente 25. Neben diesen Radialnuten 36, 37 weisen die beiden aufeinandergesetzten Halbschalen 31, 32 spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegende, konzentrisch zur Gehäuseachse 38 angeordnete Vertiefungen 39 zur Aufnahme der Ringspule 23 des Statormoduls 14 (Fig. 1) auf. Die Vertiefungen 39 sind dabei in die Radialstege 35 eingebracht, so daß die Ringspule 23, die in Fig. 8 nicht dargestellt ist, über die von Innenring 33, Außenring 34 und den Radialstegen 35 eingeschlossenen Luftdurchsatzöffnungen 40 hinweg verläuft, durch die hindurch eine optimale Wärmeabfuhr von der Ringspule 23 und den Statorjochen 24 und Rückschlußelementen 25 gewährleistet ist.

Die Statorjoche 24 und die Radialnuten 36 sind so aufeinander abgestimmt, daß bei in die Radialnuten 36 und 37 eingesetzten Statorjochen 24 und Rückschlußelementen 25 die beiden Halbschalen 31, 32 des Gehäuses 30 radial und axial unverschieblich fixiert sind. Hierzu sind die Statorjoche 24 gegenüber den Ausführungsbeispielen in Fig. 1 - 3 modifiziert und weisen - wie es bei einem in Fig. 10 in Draufsicht und in Fig. 9 in Einsetzposition im Gehäuse 30 dargestellten

- Statorjoch 24 zu sehen ist - an beiden Seiten ihres Querstegs 243 jeweils einen nach außen radial vorspringenden Haken 41 mit Hakenwurzel 411 und sich parallel zu den Jochschenkeln 251, 252 erstreckendem Übergreifungslappen 412 auf, der bei
- 5 in die Radialnut 36 eingestecktem Statorjoch 24 (Fig. 9) einen Radialsteg 35 in den beiden Halbschalen 31, 32 auf dessen von der Radialnut 36 abgekehrten Rückseite formschlüssig übergreift. Hierzu ist an dem im Außenring 34 liegenden Ende jeder Radialnut 36 zur Aufnahme der
- 10 Statorjoche 24 eine radiale Ausnehmung 42 in den Nutboden eingebracht, deren radiale Tiefe so bemessen ist, daß bei lagerichtig in die Radialnut 36 eingesetztem Statorjoch 24 die Hakenwurzel 411 des Hakens 41 mit ihrer zum Innenring 33 weisenden Unterkante im Grunde der Ausnehmung 42 anschlägt.
- 15 Damit sind einerseits die Statorjoche 24 in Radialrichtung toleranzgenau positioniert und klammern andererseits mit den Übergreifungslappen 412 ihrer Haken 41 die beiden Halbschalen 31, 32 aneinander.
- 20 Zur Sicherstellung eines selbsttätigen Anlaufs der Unipolar-Transversalflußmaschine wird diese mindestens zweisträngig ausgeführt, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Jedes Statormodul 14 wird dabei in dem vorstehend beschriebenen Gehäuse 30 aufgenommen, und die beiden Gehäuse 30 werden
- 25 gegeneinander um 90° elektrisch verdreht axial aneinandergesetzt. Bei der 32-poligen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine entspricht der Drehversatz einem Drehwinkel von $5,625^\circ$ räumlich. Um diesen Drehversatz der Gehäuse 30 toleranzgenau zu gewährleisten, sind in den
- 30 zwischen den Radialstegen 35 sich erstreckenden, die Luftdurchsatzöffnungen 40 nach außen begrenzenden

Ringabschnitten 341 des Außenrings 34 einer jeden Halbschale 31 bzw. 32 von der von den Radialnuten 36, 37 abgekehrten Außenseite der Halbschale 31 bzw. 32 aus zwei voneinander beabstandete, identische Radialaussparungen 43, 44
5 eingebracht. Die Breite der Radialaussparungen 43, 44 entspricht der Breite der an den Statorjochen 24 beidseitig vorspringenden Haken 41 und deren radiale Tiefe der axialen Abmessung der Haken 41. Der in Umfangsrichtung gesehene Abstand der Radialaussparung 43 zu der in Umfangsrichtung des
10 Gehäuses 30 nachfolgenden Radialnut 36 für ein Statorjoch 24 und der gleiche Abstand der Radialaussparung 44 zu der vorausgehenden Radialnut 36 für ein Statorjoch 24 entspricht dem Winkel, um den bei der zweisträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalfluß-maschine die beiden Statormodule 14
15 gegeneinander verdreht werden müssen. Bei der zweisträngigen Ausführung beträgt der genannte Abstand 90° elektrisch, also bei der 32-poligen Maschine $5,625^\circ$ räumlich. Bei einer mehrsträngigen Maschine beträgt dieser Drehwinkelversatz $360^\circ/m$, wobei m die Zahl der aneinandergesetzten Statormodule
20 14 und größer als 2 ist. Bei aufeinanderliegenden Halbschalen 31, 32 greifen die Haken 41 in die Radialaussparungen 43 oder 44 der benachbarten Halbschale des Gehäuses 30 vom nächsten Statormodul 14 ein, so daß beide Statormodule 14 in Umfangsrichtung genau positioniert sind.

25

Die Montage des Statormoduls 14 im Gehäuse 30 erfolgt durch Fügetechnik wie folgt:

30 Zunächst werden in einer Halbschale 31 alle Radialnuten 37 im Innenring 33 mit den Rückschlußelementen 25 bestückt, wie dies in Fig. 9 in der unteren Halbschale 31 für ein

Rückschlußelement dargestellt ist. Danach wird die Ringspule 23 (Fig. 1) in die in Umfangsrichtung fluchtenden Vertiefungen 39 in den Radialstegen 35 eingelegt. Dann wird die andere Halbschale 32 auf die vormontierte Halbschale 31 aufgesetzt, wobei die aus der Halbschale 31 axial vorstehenden Rückschlußelemente 25 in die Radialnuten 37 der Halbschale 32 eindringen. Anschließend werden von außen her die Statorjoche 24 in die Radialnuten 36 eingeschoben, bis die Wurzeln 411 der vorspringenden Haken 41 im Grunde der Ausnehmungen 42 anschlagen, wobei gleichzeitig die Übergreifungslappen 412 die Radialstege 35 auf deren Rückseiten übergreifen und so die beiden Halbschalen 31, 32 in Achsrichtung miteinander verklemmen. Die Lage der Statorjoche 24 in den beiden Halbschalen 31, 32 ist in Fig. 9 für ein Statorjoch 24 in der unteren Halbschale 31 dargestellt.

Bei der mehrsträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine wird ein in gleicher Weise gefügter zweiter Statormodul 14 mit dem Gehäuse 30 an das erste Gehäuse 30 angesetzt, wobei - wie vorstehend beschrieben - die Haken 41 der Statorjoche 24 in die einen der Radialaussparungen 43 oder 44 des zweiten Gehäuses 30 eingreifen und die Verdrehung der Statormodule 14 um 90° elektrisch gegeneinander gewährleisten. Auf die beiden äußeren Halbschalen 31, 32 der insgesamt vier Halbschalen 31, 32 wird jeweils ein Lagerschild 45 zur Aufnahme der Rotorwelle 13 befestigt. Der Lagerschild 45 ist hälftig in Fig. 12 in perspektivischer Darstellung zu sehen. Zwei solche Lagerschildhälften 45 werden mit einem Flanschteil 46 auf dem Innenring 33 der Halbschale 31 bzw. 32 befestigt. Ein

rechtwinklig vom Flanschteil 46 abstehender Lagerstützen 47 nimmt das Drehlager für die Rotorwelle 13 (Fig. 1) auf.

Wie bereits vorstehend erwähnt, kann eine mehrsträngige Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine auch in der Weise realisiert werden, daß die fest nebeneinander angeordneten Statormodule 14 axial fluchtend ausgerichtet sind und die Rotormodule 15 um einen festen Winkel gegeneinander auf der Rotorwelle 13 verdreht angeordnet sind. In diesem Fall ergibt sich die Möglichkeit, die Statorjoche 24 der in Achsrichtung nebeneinanderliegenden Statormodule 14 in ihrem Querstegbereich durch axial sich erstreckende Brücken 48 miteinander zu verbinden, wie dies für eine zweisträngige Ausführung in Fig. 11 dargestellt ist. Die Statorjoche 24 mit Brücke 48 sind dabei als einstückige Stanzteile 49 ausgeführt. An den voneinander abgekehrten Außenseiten der Statorjoche 24 ist jeweils wiederum ein vorspringender Haken 41 angeordnet. Die Stanzteile 49 werden nach Vormontage in die miteinander fluchtenden Radialnuten 36 in den vier Halbschalen 31, 32 eingelegt, wobei die Brücken 48 in den radialen Ausnehmungen 42 in den beiden aneinanderliegenden Halbschalen 31, 32 einliegen und die vorspringenden Haken 41 jeweils die Radialstege 35 der beiden äußeren Halbschalen 31, 32 auf deren von den Radialnuten 36 abgekehrten Rückseite übergreifen.

In Fig. 13 ist eine Moduleinheit für eine als Hohlwellenversion ausgeführte 16-polige Universal-Transversalflußmaschine dargestellt. Die Moduleinheit besteht wiederum aus einem Statormodul 14 und einem Rotormodul 15, die beide wie vorstehend beschrieben aufgebaut sind, so daß

in Fig. 13 gleiche Bauelemente mit gleichen Bezugszeichen
versehen sind. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 13 sitzt
das Rotormodul 15 drehfest auf einer Hohlwelle 50. Die
komplette Unipolar-Transversalflußmaschine ist wie in Fig. 1
5 zweisträngig ausgeführt und besitzt demzufolge zwei
Moduleinheiten mit zwei Statormodulen 14 und zwei auf der
Hohlwelle 50 nebeneinander angeordneten Rotormodulen 15,
wobei das Statormodul 14 oder das Rotormodul 15 der zweiten
Moduleinheit wiederum um 90° elektrisch gegenüber der ersten
10 Moduleinheit verdreht ist.

Eine solche Hohlwellenversion der Unipolar-
Transversalflußmaschine eignet sich besonders vorteilhaft als
Antriebsmotor für eine elektronmechanische Radbremse, wie sie
15 beispielsweise in der WO 96/00301 beschrieben ist. Das vom
Antriebsmotor angetriebene Rotations/Translations-
Umsetzungsgetriebe ist dann im Innern der Hohlwelle 50
untergebracht, so daß eine extrem kleine Bauform der
Radbremse erzielt wird.

20 Selbstverständlich ist es möglich, die Unipolar-
Transversalflußmaschine gemäß dem Ausführungsbeispiel in Fig.
13 auch mehrsträngig, z.B. dreisträngig, auszuführen, doch
bietet die zweisträngige Ausführung hinsichtlich des
25 erforderlichen Platzbedarfs für die Unterbringung der
elektromechanischen Radbremse die größeren Vorteile.

5

10

15

Ansprüche

1. Unipolar-Transversalflußmaschine mit einem um eine Rotorachse (19) drehbaren Rotor (12), der mindestens ein Rotormodul (15) aufweist, das aus jeweils zwei coaxialen, mit konstanter Zahnteilung gezahnten, ferromagnetischen Rotorringen (16,17) und einem zwischen den Rotorringen (16,17) eingespannten, in Richtung der Rotorachse (19) unipolar magnetisierten Permanentmagnetring (18) zusammengesetzt ist, und mit einem zur Rotorachse (19) konzentrischen Stator (11), der mindestens ein dem Rotormodul (15) zugeordnetes Statormodul (14) aufweist, das aus einer coaxial zur Rotorachse (19) angeordneten Ringspule (23;23') und diese übergreifenden U-förmigen Statorjochen (24), die mit einer der Zahnteilung entsprechenden Teilung an einem Gehäuse (10) festgelegt

sind, bestehen, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahnung der Rotorringe (16,17) ausschließlich an dem von der Rotorachse (19) abgekehrten Außenumfang der Rotorringe (16,17) vorgenommen ist, daß in dem Statormodul (14) die

5 Statorjoche (24) so angeordnet sind, daß der eine Jochschenkel (241) der Statorjoche (24) dem einen Rotorring (16) und der andere Jochschenkel (242) der Statorjoche (24) dem anderen Rotorring (17) jeweils mit

10 radialem Spaltabstand gegenübersteht, und daß zwischen in Drehrichtung des Rotors (12) aufeinanderfolgenden Statorjochen (24) jeweils ein Rückschlußelement (25;25') angeordnet ist, das sich axial über beide Rotorringe (16,17) erstreckt und diesen mit radialem Spaltabstand gegenübersteht.

15

2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (12) zwei gleiche Rotormodule (15) und der Stator (11) zwei gleiche Statormodule (14) aufweist und daß die Statormodule (14) axial nebeneinander in einem Gehäuse

20 (10) und die Rotormodule (15) axial nebeneinander auf einer Rotorwelle (13) in gegenseitiger Zuordnung jeweils so festgesetzt sind, daß die Statormodule (14) oder die Rotormodule (15) jeweils um 90° elektrisch gegeneinander verdreht sind.

25

3. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (12) m Rotormodule (15) und der Stator (11) m Statormodule (14) aufweist und daß die Statormodule (14)

30 axial nebeneinander in einem Gehäuse (10) und die Rotormodule (15) axial nebeneinander auf einer Rotorwelle

(13) in gegenseitiger Zuordnung jeweils so festgesetzt sind, daß die Statormodule (14) oder die Rotormodule (15) jeweils um $360^\circ/m$ elektrisch, wobei m eine ganze Zahl und größer als 2 ist.

5

4. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25;25') sowie die Rotorringe (16,17) lamelliert sind.
- 10
5. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückschlußelemente (25;25') um eine Polteilung zu den Statorjochen (24) versetzt angeordnet sind.
- 15
6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 5, dadurch gekennzeichnet, daß der radiale Spaltabstand zwischen den Statorjochen (24) und den Rotorringen (16,17) einerseits und zwischen den Rückschlußelementen (25;25') und den Rotorringen (16,17) andererseits gleich groß bemessen ist.
- 20
7. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 6, dadurch gekennzeichnet, daß die freie Stirnfläche (244) der Jochschenkel (241,242) der Statorjoche (24) mindestens die gleiche axiale Breite wie die Rotorringe (16,17) aufweisen, vorzugsweise über diese ein- oder beidseitig vorstehen.
- 25

30

8. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Statorjoche (24) und die Breite der Rückschlußelemente (25;25'), jeweils in Drehrichtung gemessen, in etwa gleich groß ist.
- 5
9. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Zahnbreite (b_{ZR}) der Zähne (22) an den Rotorringen (16,17) zur Breite (b_{ZS}) der Statorjoche (24), und Rückschlußelemente (25) jeweils in Drehrichtung gesehen, größer als 1 und kleiner als 2, vorzugsweise gleich oder kleiner 1,5, gewählt ist.
- 10
10. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückschlußelemente (25) C-Form mit zwei jeweils einem Rotorring (16,17) radial gegenüberliegenden kurzen Schenkeln (251,252) und einem diese miteinander verbindende Quersteg (253) aufweisen, der sich auf der der Rotorachse (19) zugekehrten Innenseite der kreisförmig ausgebildeten Ringspule (23) parallel zur Rotorachse (19) erstreckt.
- 15
- 20
11. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückschlußelemente (25') U-Form mit zwei jeweils einem Rotorring (16,17) radial gegenüberliegenden langen Schenkeln (251',252') und einem diese miteinander verbindenden, parallel zur Rotorachse (19) sich erstreckenden Quersteg (253') aufweisen und daß die Ringspule (23') des Statormoduls (14) in der Radialebene punktsymmetrisch zur Rotorachse (19) mäanderförmig derart geformt ist, daß sie aufeinanderfolgend abwechselnd zwischen den Jochschenkeln .
- 25
- 30

- (241, 242) eines Statorjochs (24) hindurch und über die von der Rotorachse (19) abgekehrte Außenseite eines Querstegs (253') eines Rückschlußelements (25') hinweg verläuft.
- 5 12. Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjochs (24) und Rückschlußelemente (25') identisch ausgebildet sind.
- 10 13. Maschine nach einem der Ansprüche 10 - 12, dadurch gekennzeichnet, daß die freie Stirnfläche (254 bzw. 254') der Schenkel (251, 252 bzw. 251', 252') der Rückschlußelemente (25 bzw. 25') zumindest die gleiche axiale Breite wie die Rotorringe (16, 17) aufweisen, vorzugsweise über diese ein- oder beidseitig vorstehen.
- 15 14. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Statormodule (14) bipolar in Abhängigkeit vom Drehwinkel (θ) des Rotors (12) mit Stromimpulsen bestromt werden und daß die Stromimpulse in den Statormodulen (14) bei zwei vorhandenen Statormodulen (14) um 90° und bei m vorhandenen Statormodulen (14) um $360^\circ/m$ gegeneinander phasenverschoben sind, wobei m eine ganze Zahl und größer 2 ist.
- 20 15. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 14, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Statormodul (14) in einem aus zwei Halbschalen (31, 32) bestehenden Gehäuse (30) aufgenommen ist, die identisch ausgebildet und spiegelsymmetrisch aufeinandergesetzt sind und axial
- 30 miteinander fluchtende Radialnuten (36, 37) zum Einstecken einerseits der Statorjochs (24) und andererseits der

Rückschlußelemente (25) sowie spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegende konzentrisch zur Gehäuseachse (38) ausgerichtete Vertiefungen (39) zum Aufnehmen der Ringspule (23) aufweisen.

5

16.Maschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß jede Halbschale (31, 32) eine gitterartige Struktur mit einem Innenring (33) und einem dazu konzentrischen Außenring (34) aufweist, die durch Radialstege (35) einstückig miteinander verbunden sind, und daß die die Rückschlußelemente (25) aufnehmenden Radialnuten (37) im Innenring (33) eingebracht sind und die die Statorjoche (24) aufnehmenden Radialnuten (36) sich über Innenring (33), Radialsteg (35) und Außenring (34) erstrecken.

15

17.Maschine nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen (39) für die Ringspule (23) in die Radialstege (35) eingebracht sind.

20 18.Maschine nach einem der Ansprüche 15 - 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) und die sie aufnehmenden Radialnuten (36) so aufeinander abgestimmt sind, daß bei in den Radialnuten (36, 37) eingesetzten Statorjochen (24) und Rückschlußelementen (25) die beiden Halbschalen (31, 32) aneinander radial und axial unverschieblich fixiert sind.

25

19.Maschine nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Radialnuten (36, 37) auf die Dicke der Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25) abgestimmt ist und die axiale Tiefe der Radialnuten (36, 37)

30

geringfügig größer bemessen ist, als die halbe axiale Breite der Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25).

5 20. Maschine nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet,
daß die Statorjoche (24) an beiden Seiten ihres Querstegs
(243) jeweils einen vorspringenden Haken (41) aufweisen,
der bei in die Radialnuten (36) eingesteckten Statorjochen
(24) einen Radialsteg (35) der beiden Halbschalen (31, 32)
auf dessen von der Radialnut (36) abgekehrten Rückseite
10 formschlüssig übergreift.

21. Maschine nach Anspruch 20 in mehrsträngiger Ausführung,
bei der die Rotormodule (15) axial fluchtend auf der
Rotorwelle (13) angeordnet und die Statormodule (14)
15 gegeneinander um einen festen Winkel verdreht sind,
dadurch gekennzeichnet, daß in den zwischen den
Radialstegen (35) sich erstreckenden Ringabschnitten (341)
des Außenrings (34) der Halbschalen (31, 32) von der von
den Radialnuten (36) abgekehrten Außenseiten der
20 Halbschale (31) aus zwei voneinander beabstandete
Radialaussparungen (42, 43) eingebracht sind, deren Breite
in Umfangsrichtung der Breite der an den Statorjochen (24)
vorstehenden Haken (41) und deren radiale Tiefe der
axialen Abmessung der Haken (41) entspricht, und daß die
25 eine Radialausnehmung (43) um den festen Drehwinkel zu der
nachfolgenden Radialnut (36) für ein Statorjoch (24) und
die andere Radialausnehmung (44) um den gleichen festen
Drehwinkel zu der vorausgehenden Radialnut (36) für ein
Statorjoch (24) versetzt angeordnet ist.

22. Maschine nach Anspruch 18 oder 19 in mehrsträngiger Ausführung, bei der die Statormodule (14) axial fluchten und die Rotormodule (15) um einen festen Winkel gegeneinander verdreht auf der Rotorwelle (13) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) der in Achsrichtung nebeneinanderliegenden Statormodule (14) in ihrem Querstegbereich durch axial sich erstreckende Brücken (48) miteinander verbunden sind, daß die beiden außenliegenden der miteinander verbundenen Statorjoche (24) auf ihrer äußeren Seite jeweils einen vom Quersteg (243) vorspringende Haken (41) aufweist, der bei in die Radialnuten (36) eingesteckten Statorjochen (24) einen Radialsteg (35) der beiden äußeren Halbschalen (31, 32) auf dessen von der Radialnut (36) abgekehrten Rückseite übergreift.

23. Maschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die über Brücken (48) miteinander verbundenen Statorjoche (24) als einstückige Stanzteile (49) ausgeführt sind.

24. Maschine nach einem der Ansprüche 20 - 23, dadurch gekennzeichnet, daß an dem im Außenring (34) liegenden Ende einer jeden Radialnut eine radiale Ausnehmung (42) in den Nutboden eingebracht ist, deren radiale Tiefe so bemessen ist, daß bei lagerichtig in die Radialnut (36) eingesetztem Statorjoch (24) die Hakenwurzel (411) des am Quersteg (23) vorspringenden Hakens (41) mit ihrer zum Innenring (33) weisenden Unterkante im Grunde der Ausnehmung (42) anschlägt.

25. Maschine nach einem der Ansprüche 15 - 24, dadurch gekennzeichnet, daß zur Drehlagerung der Rotorwelle (13) zwei Lagerschilde (45) auf die beiden außenliegenden Halbschalen (31, 32) aufgesetzt sind, die mit einem Flanschteil (46) auf den Halbschalen (31, 32) befestigt sind und in einem davon abstehenden coaxialen Lagerstutzen (47) die Rotorwelle (13) aufnehmen.
26. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 25, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Rotormodul (15) auf einer Hohlwelle (50) drehfest angeordnet ist.

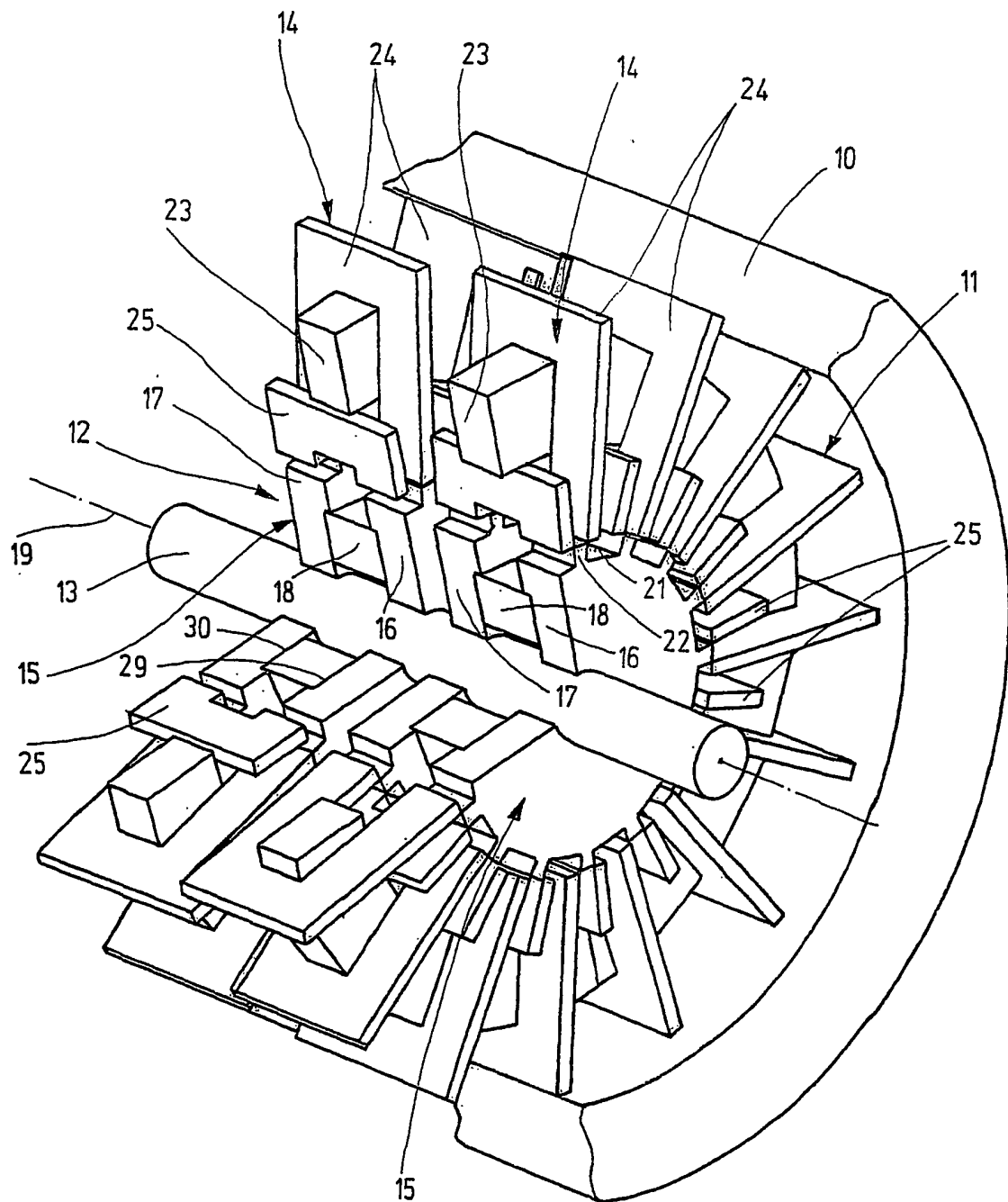


Fig.1

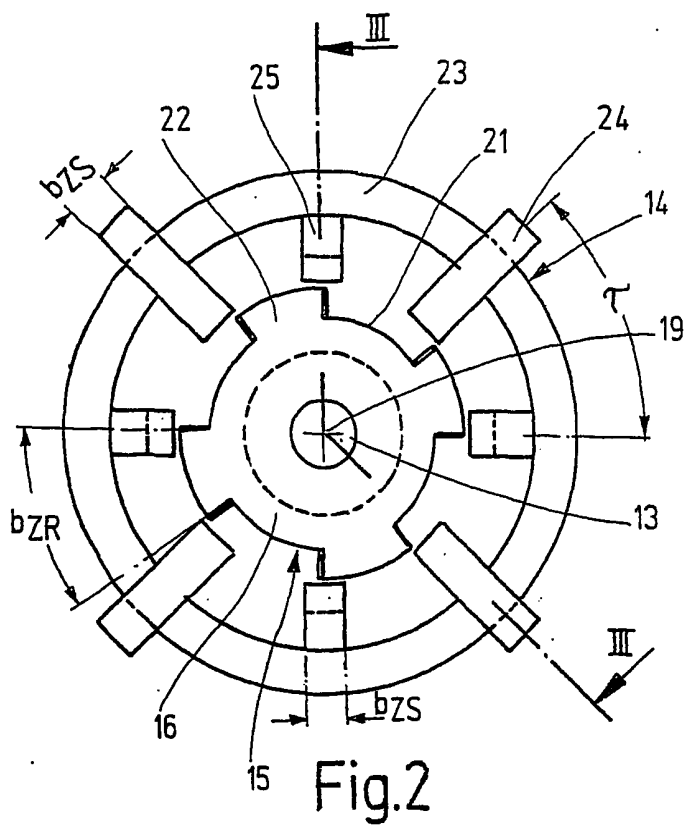


Fig. 2

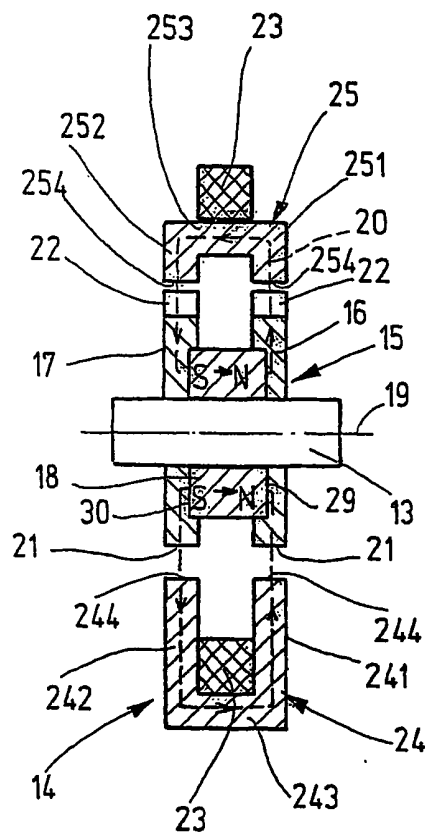


Fig. 3

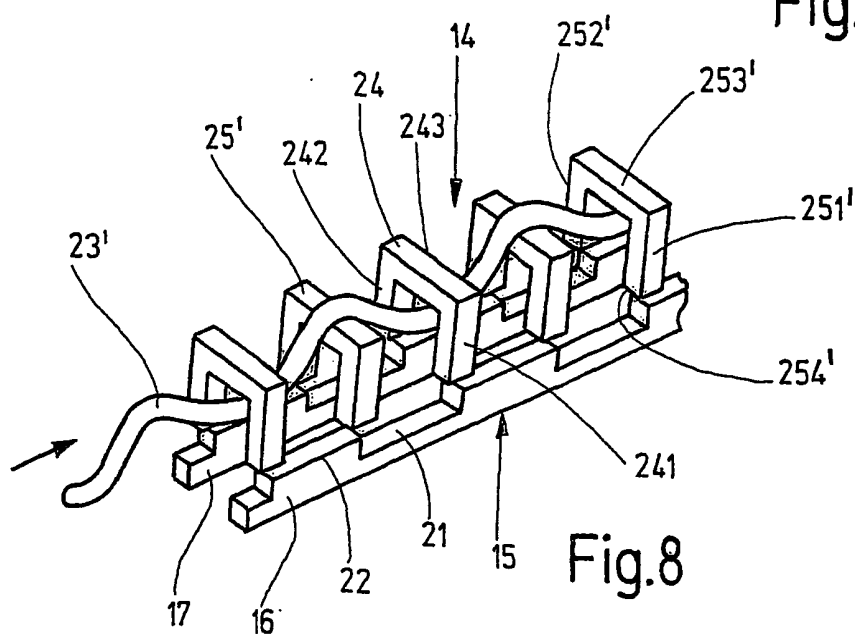
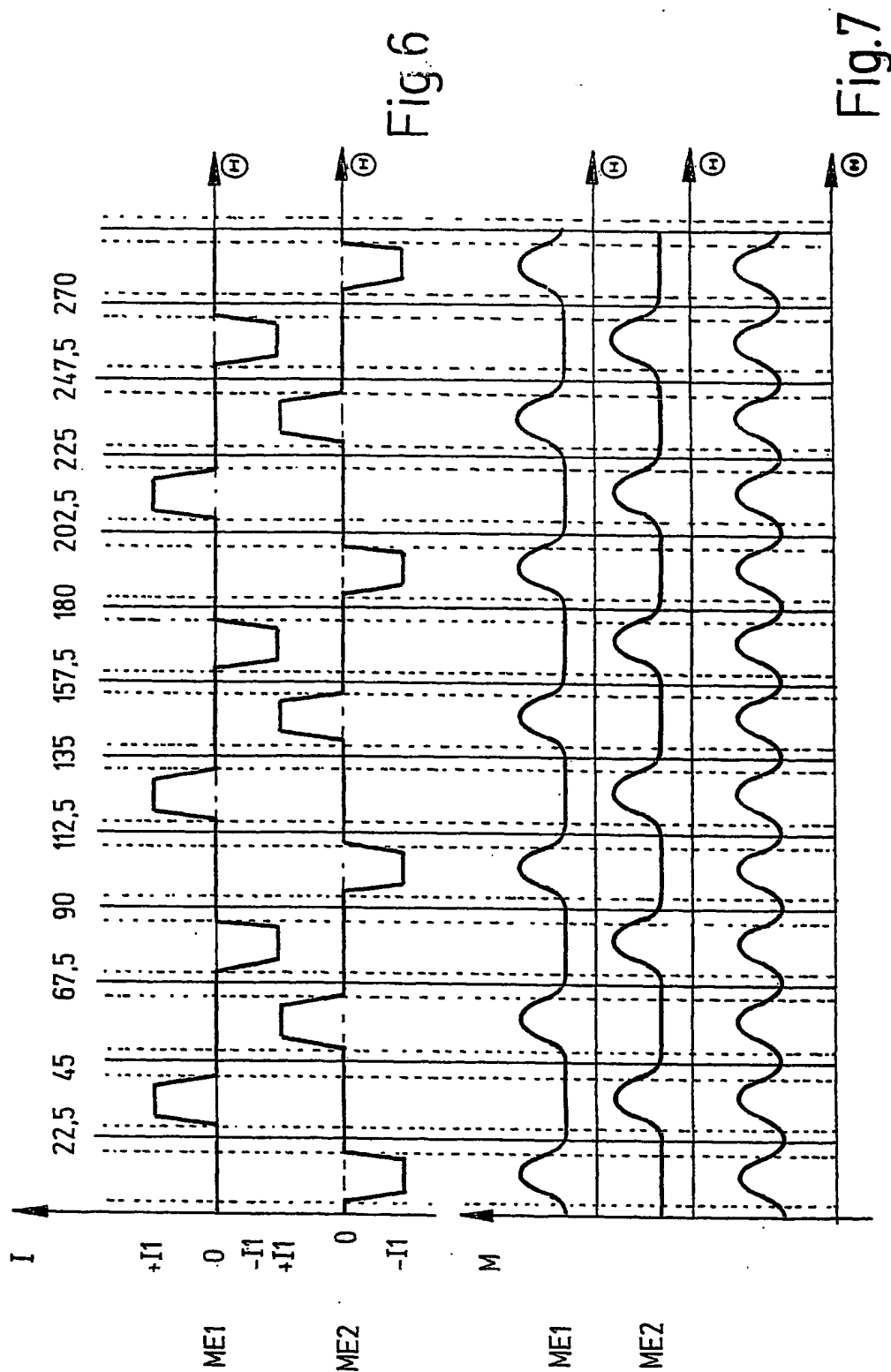


Fig. 8

4 / 7



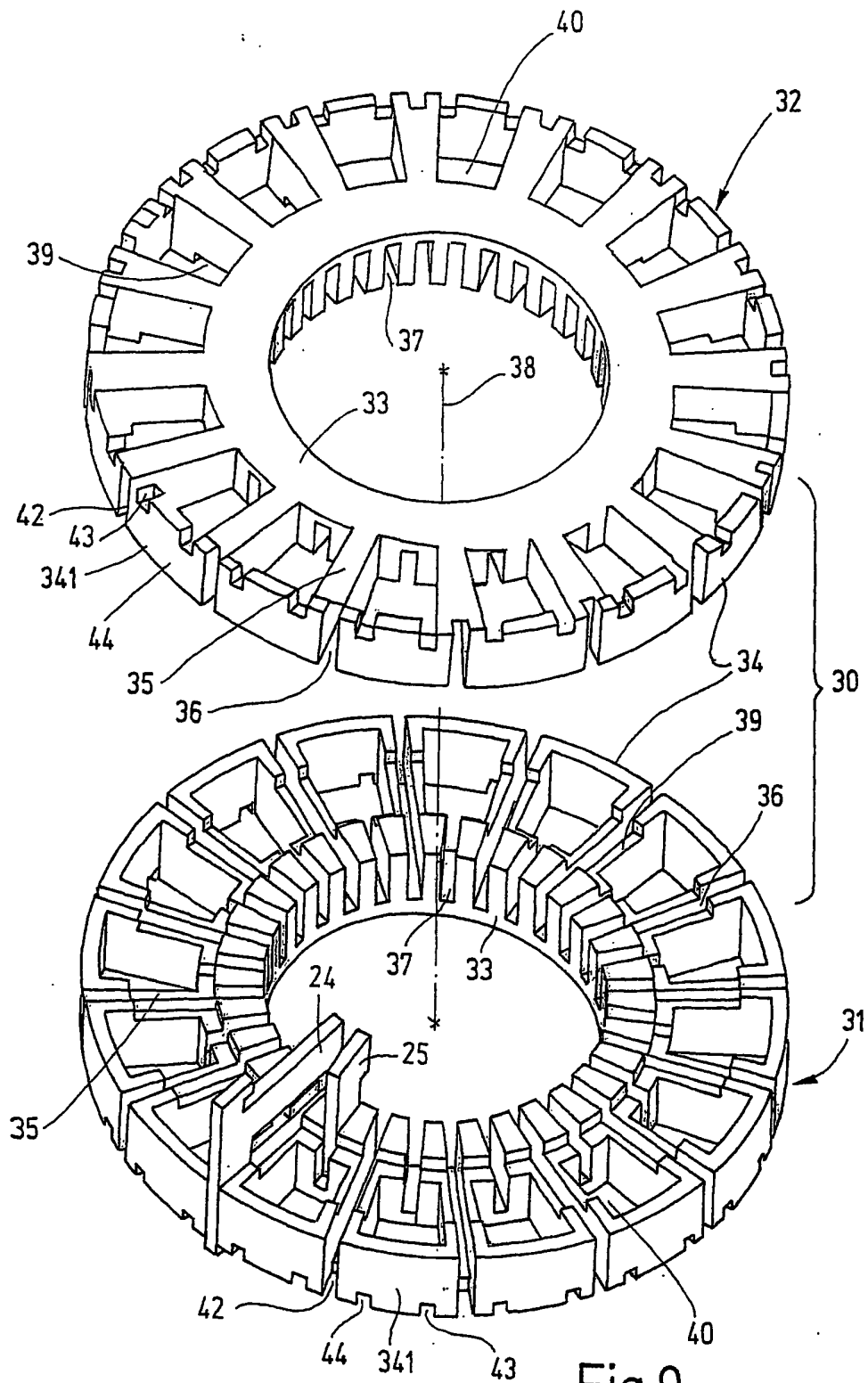
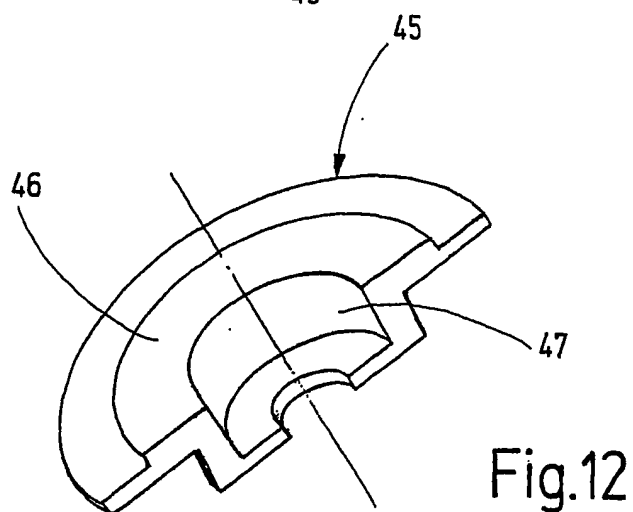
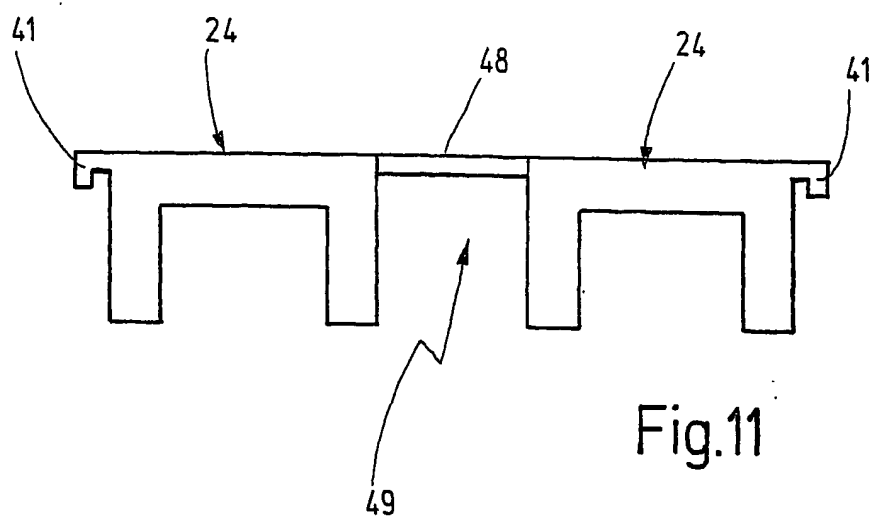
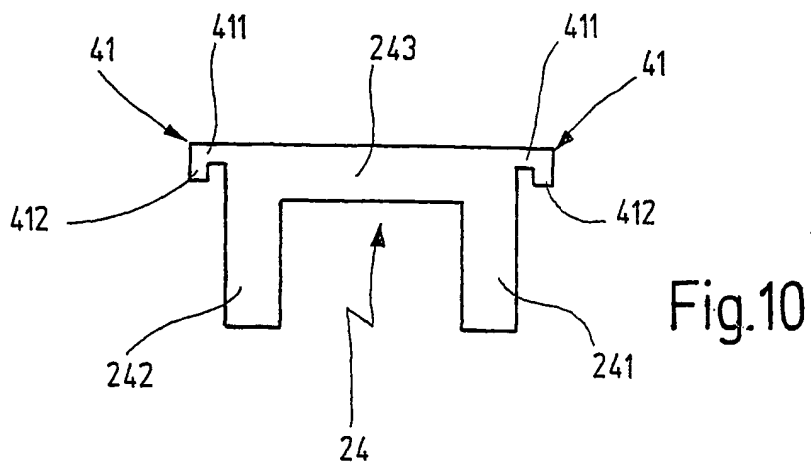


Fig.9

6 / 7



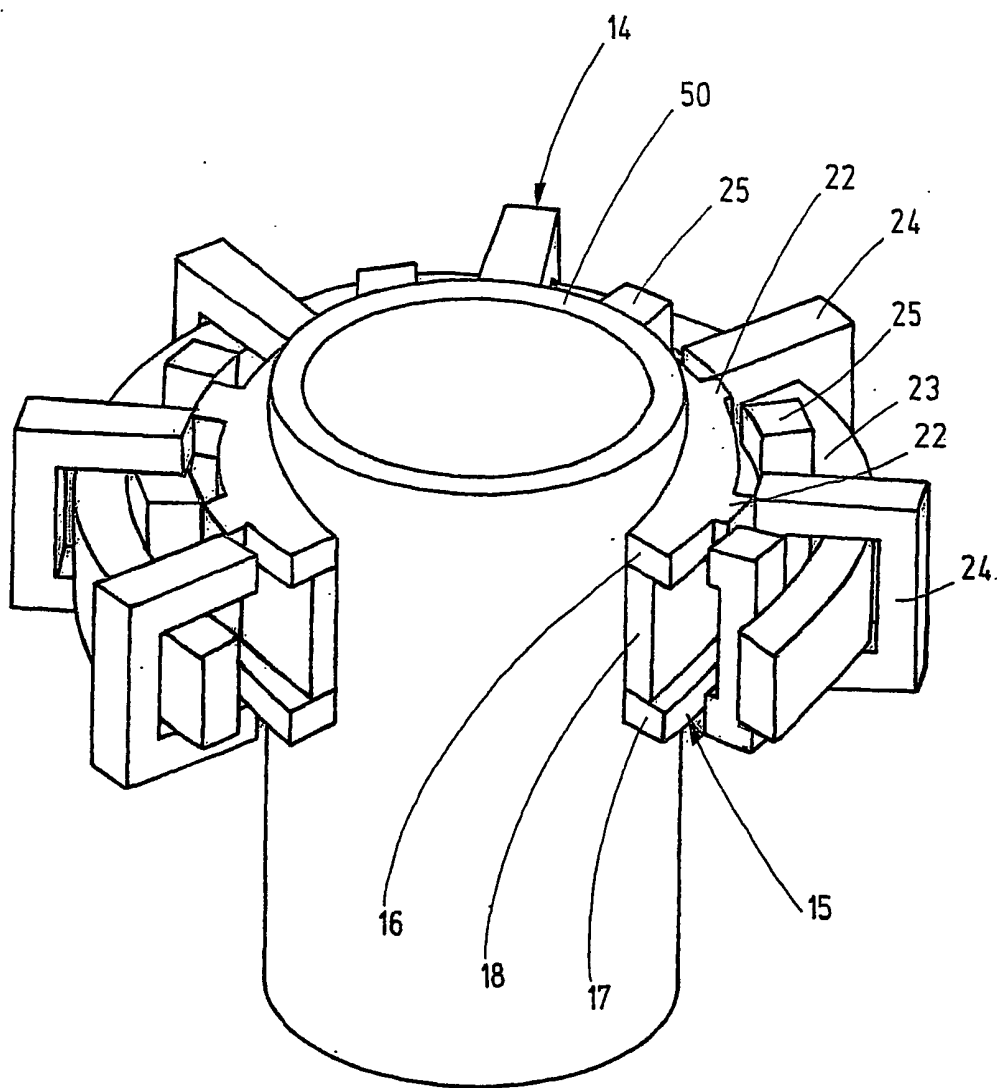


Fig.13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/01665

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H02K21/14

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 97 42699 A (HAN TAIXUN) 13. November 1997 (1997-11-13) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3	1,3,7,15
A	MICHAEL BORK: "Entwicklung und Optimierung einer fertigungsgerechten Transversalflossmaschine, Diss 82, RWTH Aachen" 1997, SHAKER VERLAG, AACHEN XP002177923 in der Anmeldung erwähnt Seite 8, Absatz 3 -Seite 14, Absatz 1; Abbildungen 2.5,2.6	1,5-8
A	DE 196 14 862 A (ABB DAIMLER BENZ TRANSP) 6. November 1997 (1997-11-06) Abbildungen 5-7	1,4-8
-/-		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. September 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Flyng, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 01/01665

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 942 517 A (ABB DAIMLER BENZ TRANSP) 15. September 1999 (1999-09-15) Zusammenfassung; Abbildungen 1,4,12 ---	1,5-8
A	DE 36 02 687 A (WEH HERBERT) 6. August 1987 (1987-08-06) Abbildung 6 ---	11
A	US 5 747 898 A (YOSHIDA KENJI ET AL) 5. Mai 1998 (1998-05-05) Siehe Rotor aufbau Abbildungen 1,2 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/01665

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9742699 A	13-11-1997	CN 2264438 U AU 5758596 A	08-10-1997 26-11-1997
DE 19614862 A	06-11-1997	AT 201538 T AU 2304197 A BR 9702142 A DE 19780317 D EP 0832511 A WO 9739515 A JP 11506600 T PL 323640 A	15-06-2001 07-11-1997 05-01-1999 23-07-1998 01-04-1998 23-10-1997 08-06-1999 14-04-1998
EP 0942517 A	15-09-1999	KEINE	
DE 3602687 A	06-08-1987	DE 3676193 D WO 8702525 A EP 0243425 A	24-01-1991 23-04-1987 04-11-1987
US 5747898 A	05-05-1998	JP 6245465 A CN 1102935 A DE 69411818 D DE 69411818 T EP 0634831 A WO 9418742 A KR 169496 Y	02-09-1994 24-05-1995 27-08-1998 03-12-1998 18-01-1995 18-08-1994 15-03-2000

5

10

Unipolar-Transversalflußmaschine

15

Stand der Technik

20 Die Erfindung geht aus von einer Unipolar-Transversalflußmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einer bekannten Maschine dieser Art (EP 0 544 200 A1),
dort als Hybrid-Synchronmaschine mit Transversalmagnetfluß
25 (Hybrid Synchronous Machine with Transverse Magnetic Flux)
bezeichnet, weist die Zahnung eines jeden Rotorrings eine auf
dem von der Rotorachse abgekehrten Außenumfang des Rotorrings
sich erstreckende und eine auf dem der Rotorachse zugekehrten
Innenumfang des Rotorrings sich erstreckende Zahnreihe mit
30 gleicher Zahnteilung auf. Die Zahnreihen auf jedem Rotorring
sind dabei um eine Zahnteilung gegeneinander verschoben. Die

- Jochteilung am Stator entspricht der Zahnteilung einer inneren oder äußeren Zahnreihe, so daß immer ein äußerer Zahn des einen Rotorrings und ein innerer Zahn des anderen Rotorrings gleichzeitig unter einem Statorjoch liegen. Die
- 5 beiden aus jeweils zwei Rotorringen mit dazwischenliegendem, axial unipolar magnetisiertem Ringmagneten bestehenden Rotormodule sind an den in Achsrichtung des Rotors voneinander abgekehrten Seiten eines Rotorkörpers festgespannt, der am Gehäuse über Drehlager abgestützt ist.
- 10 Die vom Gehäuse aufgenommenen Statorjoch eines jeden Statormoduls sind U-förmig ausgebildet und übergreifen mit ihren parallel zur Rotorachse ausgerichteten Jochschenkeln die inneren und äußeren Zahnreihen der beiden Rotorringe der Rotormodule. Die konzentrisch zur Rotorachse angeordnete
- 15 kreisförmige Ringspule in jedem Statormodul durchläuft die Statorjoch im Jochgrund, liegt also im Bereich zwischen der vom Rotorkörper wegweisenden Ringfläche des äußeren Rotorrings und dem Quersteg der Statorjoch.
- 20 Transversalflußmaschinen mit Permanentmagnetenerregung sind aus der Literatur bekannt, so "Michael Bork, Entwicklung und Optimierung einer fertigungsgerechten Transversalflußmaschine, Diss. 82, RWTH Aachen, Shaker Verlag Aachen, 1997, Seite 8 ff.". Die kreisförmig gewickelte
- 25 Statorwicklung wird von U-förmigen Jochen aus Weicheisen umschlossen, die in Drehrichtung im Abstand doppelter Polteilung angeordnet sind. Die offenen Enden dieser U-joch sind auf den Luftspalt zwischen Stator und Rotor gerichtet und bilden die Pole des Stators. Ihnen gegenüber sind
- 30 Permanentmagnetplättchen so angeordnet, daß die beiden Plättchen, die den Polen eines Statorjoches gegenüberliegen,

entgegengesetzte Polarität besitzen. Um die Permanentmagnete, die bei der Rotordrehung sich zeitweise zwischen den Polen des Stators befinden und keinen ferromagnetischen Rückschluß haben, kurzzuschließen, sind im Stator Rückschlußelemente
5 angeordnet. Diese verhindern, daß der Fluß der Permanentmagnete über die Jochschenkel und die Ringspule einstreut und durch Schwächung des Statorflusses die Wirksamkeit der Statorflußverkettung vermindert. Die Rückschlußelemente führen damit zu einer deutlichen
10 Leistungssteigerung der Maschine.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Unipolar-Transversalflußmaschine hat den
15 Vorteil einer einfachen Konstruktion in Modulbauweise, mit der jede gewünschte Strängigkeit der Maschine durch Hinzunahme oder Wegfall identisch ausgebildeter Stator- und Rotoreinheiten realisiert, d. h. modular aufgebaut, werden kann. Mit zunehmender Zahl der aus jeweils einem Statormodul
20 und einem Rotormodul sich zusammensetzenden Moduleinheiten verbessert sich der Rundlauf der Maschine und ein zunächst schrittschaltähnliches Verhalten der Maschine geht in einem kontinuierlichen Rundlauf ohne Rippel im Momentenverlauf über. Da das Gesamtmoment der Maschine die Summe der
25 Momentenanteile der Moduleinheiten ist, kann das Gesamtmoment der Maschine in einfacher Weise an bestehende Anforderungen problemlos angepaßt werden.

Gegenüber herkömmlichen Transversalflußmaschinen hat die
30 erfindungsgemäße Unipolar-Transversalflußmaschine den Vorteil einer einfachen, unipolaren Magnetisierung des Rotors und

einer einfachen Konstruktion durch Vermeiden der Vielzahl von einzelnen Permanentmagneten. Der in der Statorwicklung erzeugte Fluß geht primär nicht mehr durch die Permanentmagnete sondern durch die Zähne der Rotorringe und schließt sich über die Rückschlußelemente, so daß die Zähne besser ausgenutzt werden. Es entstehen bessere Verhältnisse der Flußführung, und der Gesamtanteil des Streuflusses wird geringer. Außerdem dienen die Rückschlußelemente zur Erzeugung eines Gegenpols im Stator, so daß man im Stator und Rotor dieselbe Polzahl erhält. Die Ringspule, deren nach außen gerichtete Abschnitte zwischen den Statorjochen eine verhältnismäßig große Fläche besitzt, läßt sich gut kühlen, so daß hohe Stromdichten in der Ringspule erreichbar sind.

Durch die in den weiteren Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im Patentanspruch 1 angegebenen Unipolar-Transversalflußmaschine möglich.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weisen die Rückschlußelemente C-Form mit zwei jeweils einem Rotorring radial gegenüberliegenden kurzen Schenkeln und einem diese miteinander verbindenden Quersteg auf, der sich auf der der Rotorachse zugekehrten Innenseite der kreisförmig ausgebildeten Ringspule parallel zur Rotorachse erstreckt.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung sind die Rückschlußelemente identisch den Statorjochen ausgebildet und weisen U-form mit zwei jeweils einem Rotorring radial gegenüberliegenden langen Schenkeln und einem diese miteinander verbindenden parallel zur Rotorachse sich

erstreckenden Quersteg auf. Die Ringspule des Statormoduls ist in der Radialebene punktsymmetrisch zur Rotorachse mäanderförmig derart geformt, daß sie aufeinanderfolgend abwechselnd zwischen den Jochschenkeln eines Statorjoches
5 hindurch und über die von der Rotorachse abgekehrte Außenseite eines Rückschlußelements hinweg verläuft. Dies hat den Vorteil, daß für Joche und Rückschlußelemente das gleiche Werkzeug verwendet werden kann und dadurch mit dem gleichen Werkzeug höhere Stückzahlen gefertigt werden können. Die
10 Ringspule läßt sich relativ einfach in die Mäanderform bringen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist jedes Statormodul in einem aus zwei Halbschalen bestehenden
15 Gehäuse aufgenommen, die identisch ausgebildet und spiegelsymmetrisch aufeinandergesetzt sind und miteinander axial fluchtende Radialnuten zum Einstecken der Statorjoche und Rückschlußelemente sowie spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegende, konzentrisch zur Gehäuseachse
20 ausgerichtete Vertiefungen zur Aufnahme der Ringspule aufweisen. Dadurch wird eine selbsttragende Statorkonstruktion mit identischen Bauteilen und einfacher Fügetechnik erreicht, die für eine hochautomatisierte Großserienproduktion bestens geeignet ist. Die selbsttragende
25 und selbsthaltende Funktion mit exakter Positionierung der Statormodulelemente (Statorjoche, Rückschlußelemente, Ringspule) ist nicht nur auf das einzelne Statormodul beschränkt, sondern wird auch für die Positionierung weiterer Statormodule zueinander und für die Kraft- bzw.
30 Momentübertragung verwendet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besitzt jede Halbschale eine gitterartige Struktur mit einem Innenring und einem dazu konzentrischen Außenring. Beide Ringe sind durch Radialstege einstückig miteinander
5 verbunden. Die die Rückschlußelemente aufnehmenden Radialnuten sind im Innenring eingebracht, während sich die die Statorjoche aufnehmenden Radialnuten über Innenring, Radialsteg und Außenring erstrecken. Diese Gitterstruktur mit zwischen den Radialstegen liegenden Öffnungen ermöglicht eine
10 intensive Wärmeübergabe von den aktiven magnetischen und elektrischen Statorelementen auf das Kühlmedium Luft und damit eine intensive Wärmeabgabe zu der Umgebung.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind
15 die Statorjoche und die sie aufnehmenden Radialnuten in Form und Abmessungen so aufeinander abgestimmt, daß bei in die Radialnuten eingesetzten Statorjochen die beiden Halbschalen aneinander radial und axial unverschieblich fixiert sind. Damit haben die Statorjoche zwei Funktionen, nämlich zum
20 einen die der magnetische Flußführung und zum andern die einer mechanischen Klammer, welche die Halbschale zusammenhalten und richtig positionieren.

Zur Realisierung der mechanischen Klammerfunktion weisen die
25 Statorjoche nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung an beiden Seiten ihres Querstegs jeweils einen vorspringenden Haken auf, der bei in die Radialnuten eingesetzten Statorjochen einen Radialsteg der beiden Halbschalen auf dessen von der Radialnut abgekehrten
30 Rückseite formschlüssig übergreift.

- Bei einer mehrsträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine, bei welcher die Rotormodule axial fluchtend auf der Rotorwelle angeordnet und die Statormodule gegeneinander um einen festen Winkel verdreht sind, der bei
- 5 zweisträngiger Ausführung 90° elektrisch und bei m strängiger Ausführung $360^\circ/m$ elektrisch mit $m > 2$ beträgt, sind in den in den Radialstegen sich erstreckenden Ringabschnitten des Außenrings der Halbschalen von der von den Radialnuten abgekehrten Außenseiten der Halbschale aus zwei voneinander
- 10 beabstandete Radialaussparungen eingebracht, deren Breite in Umfangsrichtung der Breite der vorspringenden Haken und deren radiale Tiefe der axialen Tiefe der Wurzel der vorspringenden Haken entspricht. Zum spiegelsymmetrischen Aufeinanderzusetzten der beiden identischen Halbschalen ist die eine
- 15 Radialausnehmung im Ringabschnitt um den festen Winkel zu der nachfolgenden Radialnut für ein Statorjoch und die andere Radialausnehmung um den gleichen festen Winkel zu der vorausgehenden Radialnut für ein Statorjoch versetzt angeordnet. In eine dieser Radialausnehmungen pro
- 20 Ringabschnitt dringen die vorspringenden Haken des benachbarten Statormoduls ein und gewährleisten den erforderlichen Drehwinkelversatz zwischen benachbarten Statormodulen.
- 25 In einer alternativen Ausführungsform der mehrsträngigen Ausführung fluchten die Statormodule axial, während die Rotormodule um einen gleichen wie vorstehend definierten festen Winkel gegeneinander verdreht auf der Rotorwelle angeordnet sind. Bei einer solchen Ausbildung der
- 30 mehrsträngigen Maschine entfallen die vorstehend beschriebenen Radialausnehmungen im Außenring und die

Statorjoche der in Achsrichtung nebeneinanderliegenden Statormodule sind in ihrem Querstegbereich durch axial sich erstreckende Brücken miteinander verbunden. Die beiden außenliegenden Statorjoche der miteinander verbundenen
5 Statorjoche weisen auf ihrer äußeren Seite jeweils einen vom Quersteg vorspringenden Haken auf, der bei in die Radialnuten eingesteckten Statorjochen einen Radialsteg der beiden Halbschalen auf dessen von der Radialnut abgekehrten Rückseite übergreift. Die miteinander verbundenen Statorjoche
10 mit den dazwischenliegenden Brücken sind vorzugsweise als einstückige Stanzteile ausgeführt.

Zeichnung

15 Die Erfindung ist anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

20 Fig. 1 ausschnittsweise eine perspektivische Ansicht einer zweisträngigen, 32-poligen Unipolar-Transversalflußmaschine, teilweise schematisiert,

25 Fig. 2 eine Draufsicht einer Moduleinheit einer 8-poligen Unipolar-Transversalflußmaschine, schematisch dargestellt,

30 Fig. 3 einen Schnitt längs der Linie III - III in Fig. 2,

- Fig. 4 jeweils eine schematisch dargestellte
und Draufsicht einer zweisträngigen, 8-poligen
Fig. 5 Unipolar-Transversalflußmaschine in zwei
5 unterschiedlichen Drehstellungen des Rotors,
zur Erläuterung der Funktionsweise,
- Fig. 6 ein Diagramm der Bestromung des Stators der
beiden Moduleinheiten der zweisträngigen
Unipolar-Transversalflußmaschine,
- 10 Fig. 7 jeweils ein Diagramm des Momentenverlaufs in
den beiden Rotormodulen und des Verlaufs des
Gesamtmoments an der Rotorwelle,
- 15 Fig. 8 ausschnittsweise eine perspektivische
Darstellung einer Abwicklung einer
Moduleinheit mit einer modifizierten
Statorwicklung,
- 20 Fig. 9 eine perspektivische Explosionsdarstellung
eines ein Statormodul aufnehmenden Gehäuses
für eine einsträngige, 32-polige Unipolar-
Transversalflußmaschine,
- 25 Fig. 10 eine Draufsicht eines Statorjochs zur
Verwendung in dem Gehäuse in Fig. 9,
- 30 Fig. 11 eine Draufsicht zweier miteinander
verbundener, axial fluchtender Statorjoches für
eine zweisträngige Unipolar-Transversal-
flußmaschine,

Fig. 12 ausschnittsweise eine Draufsicht eines am Gehäuse zu befestigenden Lagerschilds zur Drehlagerung der Rotorwelle,

5

Fig. 13 ausschnittsweise eine vereinfachte Darstellung einer Moduleinheit einer als Hohlwellenversion ausgeführten 16-poligen Unipolar-Transversalflußmaschine.

10

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die in der Zeichnung in verschiedenen Ansichten und Schnitten schematisiert dargestellte Unipolar-Transversalflußmaschine weist ein Maschinengehäuse 10 mit einem daran gehaltenen Stator 11 sowie einen im Stator 11 umlaufenden Rotor 12 auf, der drehfest auf einer im Maschinengehäuse 10 gelagerten Rotorwelle 13 sitzt. Der Rotor 12 weist mehrere Rotormodule 15 und der Stator 11 eine gleiche Anzahl von Statormodulen 14 auf. Die Rotormodule 15 sind axial hintereinander unmittelbar auf die Rotorwelle 13 drehfest aufgesetzt, und die Statormodule 14 sind axial hintereinander in radialer Ausrichtung zum zugehörigen Rotormodul 15 am Maschinengehäuse 10 befestigt. Die Anzahl der jeweils ein Statormodul 14 und ein Rotormodul 15 umfassenden Moduleinheiten ist bestimmt durch die gewählte Strängigkeit der Unipolar-Transversalflußmaschine, die in den beschriebenen Ausführungsbeispielen zweisträngig ist und demzufolge zwei Moduleinheiten besitzt. Sie kann aber auch einsträngig oder drei- oder mehrsträngig ausgeführt werden. Die Statormodule 14 und die Rotormodule 15 und damit die Moduleinheiten sind

25

20

15

30

identisch ausgebildet, so daß die Unipolar-
 Transversalflußmaschine eine modulare Bauweise aufweist und
 durch Hinzufügen oder Verringern von Moduleinheiten
 problemlos an bestehende Anforderungen bezüglich der Leistung
 5 und des Drehmoments angepaßt werden kann.

Das Rotormodul 15 besteht aus zwei coaxialen, gezahnten,
 ferromagnetischen Rotorringen 16, 17, die auf der Rotorwelle
 13 sitzen und zwischen sich einen Permanentmagnetring 18
 10 einspannen, der in axialer Richtung, also in Richtung der
 Rotor- oder Gehäuseachse 19 unipolar magnetisiert ist. In
 Fig. 3 ist beispielhaft die Magnetisierung des
 Permanentmagnetrings 18 angegeben und der vom
 Permanentmagnetring 18 erzeugte Magnetfluß 20 strichliniert
 15 eingezeichnet. Zur Optimierung des Gesamtstreuflußverlaufs
 und einer besseren Ausnutzung des Permanentmagnetrings 18 ist
 letzterer mit seinen ringförmigen Stirnflächen in je einer
 zentralen, axialen Vertiefung 29 bzw. 30 in den einander
 zugekehrten Seitenflächen der Rotorringe 16, 17 aufgenommen.
 20 Jeder Rotorring 16, 17 ist an seinem von der Rotorachse 19
 abgekehrten Außenumfang mit konstanter Zahnteilung gezahnt,
 so daß die durch jeweils eine Zahnücke 21 voneinander
 getrennten Zähne 22 der sich ergebenden Zahnreihe einen
 gleichen Drehwinkelabstand voneinander haben. Die Zähne 22 am
 25 Rotorring 16 und am Rotorring 17 fluchten in Axialrichtung
 miteinander. Die Rotorringe 16, 17 mit den daran einstückig
 angeformten Zähnen 22 sind lamelliert und werden bevorzugt
 aus gleichen Blechstanzschnitten, die in Achsrichtung
 aneinanderliegen, zusammengesetzt.

Das das Rotormodul 15 mit Radialabstand konzentrisch umschließende Statormodul 14 weist eine coaxial zur Rotorachse 19 angeordnete Ringspule 23 sowie die Ringspule 23 übergreifende U-förmige Statorjoch 24 auf. Die ebenfalls lamellierten, aus Stanzblechen zu Blechpaketen zusammengesetzten Statorjoch 24 sind hier am Maschinengehäuse 10 mit einer der Zahnteilung am Rotormodul 15 entsprechenden Jochteilung festgelegt, so daß sie den gleichen Drehwinkelabstand voneinander haben, wie die Zähne 22 der Rotorringe 16, 17. Die Statorjoch 24 sind hier so angeordnet, daß jeweils der eine Jochschenkel 241 mit dem einen Rotorring 16 und der andere Jochschenkel 242 mit dem anderen Rotorring 17 des zugeordneten Rotormoduls 12 radial fluchtet, wobei die Polflächen bildenden freien Stirnflächen 244 der Jochschenkel 241, 242 dem Rotorring 16 bzw. 17 mit radialem Spaltabstand gegenüberstehen (vgl. Fig. 1 und 3). Im Ausführungsbeispiel weisen die Stirnflächen 244 eine gleiche axiale Breite wie die Rotorringe 16, 17 auf. Vorteilhaft sind aber auch über die Rotorringe 16, 17 ein- oder beidseitig axial überstehende Stirnflächen 244 der Jochschenkel 241, 242. Zwischen den in Drehrichtung des Rotors 12 aufeinanderfolgenden Statorjochen 24 ist jeweils ein Rückschlußelement 25 angeordnet. Die ebenfalls lamellierten, als Blechpakete hergestellten Rückschlußelemente 25 haben den gleichen Drehwinkelabstand voneinander wie die Statorjoch 24 und sind gegenüber den Statorjochen 24 um eine halbe Jochteilung versetzt bzw. eine Polteilung τ angeordnet. Die Rückschlußelemente 25 erstrecken sich parallel zur Rotorachse 19 bis über beide Rotorringe 16, 17 und stehen diesen mit dem gleichen radialen Spaltabstand gegenüber wie die Statorjoch 24. Die in Drehrichtung gemessenen Breite der

Rückschlußelemente 25 ist etwa gleich groß wie die in Drehrichtung gemessene Breite der Statorjoche 24, während die in Drehrichtung gemessene Breite der Zähne 22 an den Rotorringen 16, 17 kleiner als die Polteilung τ ist.

5

Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, ist die auch als Rotorzahnbreite b_{ZR} bezeichnete Breite der Zähne 22 an den Rotorringen 16, 17 im Vergleich zu der als Statorzahnbreite b_{zs} bezeichneten Breite der Statorjoche 24 und

10 Rückschlußelemente 25 wesentlich größer bemessen, und zwar so, daß das Verhältnis der Rotorzahnbreite b_{ZR} zur Statorzahnbreite b_{zs} größer als 1 und kleiner als 2 ist. Die obere Grenze wird dabei vorzugsweise niedriger gehalten und beispielsweise gleich oder kleiner 1,5 gewählt. Ein
15 verbessertes Maschinenverhalten kann erreicht werden, z.B. die Welligkeit von Momentrippeln geglättet werden, wenn die Statorjoche 24 und Rückschlußelemente 25 nicht exakt um eine Polteilung τ versetzt angeordnet sind, sondern ihr Abstand von der Polteilung τ differiert.

20

In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 - 5 haben die Rückschlußelemente 25 C-Form mit zwei jeweils einem Rotorring 16, 17 radial gegenüberliegenden kurzen Schenkeln 251, 252 und einem diese miteinander verbindenden Quersteg 253, der
25 sich auf der der Rotorachse 19 zugekehrten Innenseite der kreisförmig ausgebildeten Ringspule 23 parallel zur Rotorachse 19 erstreckt. Durch diese Ausbildung der Rückschlußelemente 25 und der Statorjoche 24 durchläuft die kreisförmige Ringspule 23 die Statorjoche 24 am
30 Jochschenkelgrund und läuft dazwischen über jeweils ein Rückschlußelement 25 hinweg. Die axiale Breite der

Stirnfläche 254 der Schenkel 251, 252 ist hier gleich der axialen Breite der Rotorringe 16, 17 ausgeführt. Die Schenkel 251, 252 können aber auch axial über die Rotorringe 16, 17 überstehen.

5

Wie in Fig. 1 perspektivisch dargestellt und in Fig. 4 und 5 schematisch skizziert ist, sind bei der zweisträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine die beiden axial nebeneinander auf der Rotorwelle 13 sitzenden

10 Rotormodule 15 der beiden Moduleinheiten miteinander fluchtend ausgerichtet und die beiden im Maschinengehäuse 10 axial nebeneinander angeordneten Statormodule 14 der beiden Moduleinheiten um 90° elektrisch gegeneinander verdreht, was einer halben Polteilung τ entspricht. Bei der in Fig. 4 und 15 5 dargestellten 8-poligen Ausführung der Maschine entspricht dieser Versatz einem Drehwinkel von $22,5^\circ$ und bei der in Fig. 1 dargestellten 32-poligen Ausführung der Maschine einem Versatzwinkel in Drehrichtung von $5,625^\circ$. Alternativ ist es möglich, die beiden Statormodule 14 in Achsrichtung 20 miteinander fluchtend auszurichten und die auf der Rotorwelle 13 sitzenden Rotormodule 15 um den genannten elektrischen Winkel von 90° gegeneinander zu verdrehen.

Die Wirkungsweise der Maschine ist in der Betriebsart als 25 Motor nachfolgend anhand der Fig. 4 - 7 erläutert. In Fig. 4 und 5 ist dabei die zweisträngige Maschine in Draufsicht schematisch dargestellt, wobei das Statormodul 14 der in Draufsicht hinter der vorderen Moduleinheit liegenden Moduleinheit im Durchmesser vergrößert dargestellt ist, um es 30 sichtbar zu machen. Die beiden auf der Rotorwelle 13 drehfest sitzenden, den Rotor 12 bildenden Rotormodule 15 der

Moduleinheiten fluchten miteinander, so daß nur das Rotormodul 15 der in Draufsicht vorderen Moduleinheit zu sehen ist. Fig. 4 und 5 zeigen eine gleiche Darstellung der Maschine in zwei unterschiedlichen Drehstellungen des Rotors 12. In Fig. 6 ist ein Diagramm der Bestromung der beiden Ringspulen 23 in den beiden Statormodulen 14 in Abhängigkeit von der Drehstellung θ des Rotors 12 dargestellt. Jede Ringspule 23 wird bipolar bestromt, also abwechselnd mit einem positiven und einem negativen Stromimpuls beispielsweise mit gleicher Amplitude beaufschlagt, wobei die Stromimpulse in den beiden Ringspulen 23 der Statormodule 14 um 90° gegeneinander phasenverschoben sind.

In Fig. 4 ist bei einer Drehstellung des Rotors 12 unter einem Drehwinkel θ_1 die Ringspule 23 mit einem positiven Stromimpuls beaufschlagt. Die momentane Stromrichtung in der Ringspule 23 ist in Fig. 4 durch den der Ringspule 23 zugeordneten Pfeil 26 symbolisiert. Dieser Strom erzeugt einen Statorfluß über die Statorjoche 24, den Zähnen 22 der Rotorringe 16, 17 und den Rückschlußelementen 25, wie er in Fig. 4 für ein Statorjoch 24, einen Zahn 22 und ein Rückschlußelement 25 durch Pfeil 27 angedeutet ist. Der Statorfluß 27 verläuft dabei radial in dem einen Jochschenkel 241 zu dem diesen gegenüberstehenden Zahn 22 und schließt sich über das Rückschlußelement 25, dem zweiten Jochschenkel 242 und dem Quersteg 243 (hier nicht zu sehen) des Statorjochs 24. Der Magnetfluß 20, der, wie Fig. 3 zeigt, im Rotorring 16 in Radialrichtung nach außen und im Rotorring 17 radial nach innen gerichtet ist, ist in Fig. 4 und 5 durch Pfeile 20 symbolisiert. An dem dargestellten Flußverlauf sieht man deutlich, daß der Magnetfluß 20 dem Ständerfluß 27

im Bereich der Statorjochs 24 entgegengerichtet und im Bereich der Rückschlußelemente 25 gleichgerichtet ist. Demzufolge werden die Zähne 22 von den Statorjochen 24 abgestoßen und von den Rückschlußelementen 25 angezogen, so daß sich der Rotor 12 in Pfeilrichtung 27 um einen Winkelschritt dreht. Bei gleicher, um 90° phasenverschobener Bestromung der Ringspule 23 in dem zweiten Statormodul 14 läuft der gleiche Prozeß ab, und der Rotor 12 wird um einen gleichen Drehwinkel gedreht, so daß er sich insgesamt um einen Drehwinkel θ_2 (Fig. 5) gedreht hat. Nunmehr wird die Stromrichtung des Stromimpulses in der Ringspule 23 invertiert, was durch den der Ringspule 23 zugeordneten Pfeil 26 in Fig. 5 symbolisiert ist. Bei unverändertem Magnetfluß 20 ändert sich der Statorfluß in der durch Pfeil 27 in Fig. 5 angedeuteten Weise. Infolgedessen werden die Zähne 22 des Rotors 12 von den Statorjochen 24 angezogen und von den Rückschlußelementen 25 abgestoßen, und der Rotor 12 bewegt sich in gleiche Drehrichtung 28 weiter. Um 90° phasenverschoben werden dann die der Ringspule 23 im zweiten Statormodul 14 zugeführten Stromimpulse invertiert, und der gleiche Vorgang läuft wieder ab. Wie das Bestromungsmuster der beiden Statormodule 14 in Fig. 6 zeigt, wird der beschriebene Vorgang über den gesamten Drehwinkel θ von 360° des Rotors 12 fortgesetzt, so daß der Rotor 12 umläuft.

25

In Fig. 7 sind die an der Rotorwelle 13 anstehenden Drehmomente über den Drehwinkel θ des Rotors 12 dargestellt. Die beiden oberen Diagramme zeigen den Verlauf der Drehmomente, wie sie von jedem der beiden Moduleinheiten anteilig geliefert werden. Das untere Diagramm in Fig. 7 zeigt das an der Rotorwelle 13 abnehmbare Gesamtdrehmoment,

30

das sich aus der Addition der von den beiden Moduleinheiten erzeugten der Einzelmomente ergibt. Wie aus Fig. 7 zu erkennen ist, schwankt das Drehmoment M über den Drehwinkel θ , so daß der Drehmomentenverlauf mit einem unerwünschten Rippel versehen ist. Diesen Rippel kann man weniger merkbar machen, wenn einerseits die Polzahl der Maschine erhöht und andererseits die Anzahl der Moduleinheiten der Maschine und damit die Anzahl der Stränge vergrößert wird. Als elektrisch und fertigungstechnisch günstig hat sich dabei die in Fig. 1 dargestellte 32-polige Ausführung der Maschine erwiesen.

Die im Ausführungsbeispiel beschriebene zweisträngige Maschine kann mit mehr als zwei Strängen ausgeführt werden. Ist die Anzahl m der Stränge und damit die Anzahl der räumlich parallel angeordneten Moduleinheiten mit auf einer gemeinsamen Rotorwelle 13 sitzenden identischen Rotormodulen 15 eine ganze Zahl größer als 2, so sind die am Stator 11 axial hintereinander angeordneten Statormodule 14 um einen elektrischen Winkel von $360^\circ/m$ gegeneinander zu verschieben, bei einer dreisträngigen Maschine mit drei Moduleinheiten also um 120° elektrisch.

In den Ausführungsbeispielen der Unipolar-Transversalflußmaschine gemäß Fig. 1 - 5 ist die Ringspule 23 kreisförmig ausgeführt und konzentrisch zur Rotorachse 19 angeordnet. Dies erfordert eine unterschiedliche geometrische Ausbildung der Statorjoche 24 und der Rückschlußelemente 25. In einer alternativen Ausführungsform einer Moduleinheit, wie sie in Fig. 8 perspektivisch ausschnittsweise als Abwicklung dargestellt ist, sind die Rückschlußelemente 25' identisch wie die Statorjoche 24 ausgebildet. Die Statorjoche 24 sind

hier nur schematisch dargestellt und in ihren Proportionen nicht den Proportionen der Zähne 22 der Rotorringe 16, 17 angepaßt, wie dies beispielsweise in Fig. 4 und 5 der Fall ist. Wie die Statorjoche 24 haben die Rückschlußelemente 25' U-Form mit zwei jeweils einem Rotorring 16 bzw. 17 radial gegenüberliegenden langen Schenkeln 251' und 252' und einem diesen miteinander verbindenden, parallel zur Rotorachse 19 sich erstreckenden Quersteg 253'. Die Ringspule 23', die zur Erzeugung des Statorflusses einerseits durch die Statorjoche 24 hindurch und andererseits über die Querstege 253' der Rückschlußelemente 25' hinweggeführt werden muß, ist demzufolge in der Radialebene punktsymmetrisch zur Rotorachse 19 mäanderförmig geformt, so daß sie einerseits an der zur Rotorachse 19 hin gerichteten Innenseite der Querstege 243 der Statorjoche 24 und andererseits an der von der Rotorachse 19 abgekehrten Außenseite der Querstege 253' der Rückschlußelemente 25' verläuft.

Jedes der vorstehend beschriebenen Statormodule 14 ist als selbsttragende Konstruktion ausgeführt und ist hierzu in einem aus zwei Halbschalen 31, 32 bestehenden Gehäuse 30 aufgenommen. Die beiden Halbschalen 31, 32 sind identisch ausgebildet und spiegelsymmetrisch aufeinandergesetzt, wie dies aus der Explosionsdarstellung in Fig. 9 ersichtlich ist. Jede Halbschale 31, 32 weist eine gitterartige Struktur mit einem Innenring 33 und einem dazu konzentrischen Außenring 34 auf, die durch Radialstege 35 einstückig miteinander verbunden sind. In den Halbschalen 31, 32 sind einerseits Radialnuten 36 zur Aufnahme der Statorjoche 24, die sich über Innenring 33, Radialsteg 35 und Außenring 34 erstrecken, sowie andererseits Radialnuten 37 zum Einstecken der

Rückschlußelemente 25 ausgebildet, die sich nur über den
 Innenring 33 erstrecken. Die Anzahl der Radialnuten 36, 37
 insgesamt entspricht der Anzahl der Statorelemente
 (Statorjoche und Rückschlußelemente) und beträgt im
 5 Ausführungsbeispiel der Fig. 9 für eine 32-polige Unipolar-
 Transversalflußmaschine zweiunddreißig. Die Breite der
 Radialnuten 36, 37 ist dabei auf die Dicke der Statorjoche 24
 bzw. Rückschlußelemente 25 abgestimmt, und die axiale Tiefe
 der Radialnuten 36, 37 ist geringfügig größer bemessen als
 10 die halbe axiale Breite der Statorjoche 24 bzw. der
 Rückschlußelemente 25. Neben diesen Radialnuten 36, 37 weisen
 die beiden aufeinandergesetzten Halbschalen 31, 32
 spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegende, konzentrisch
 zur Gehäuseachse 38 angeordnete Vertiefungen 39 zur Aufnahme
 15 der Ringspule 23 des Statormoduls 14 (Fig. 1) auf. Die
 Vertiefungen 39 sind dabei in die Radialstege 35 eingebracht,
 so daß die Ringspule 23, die in Fig. 8 nicht dargestellt ist,
 über die von Innenring 33, Außenring 34 und den Radialstegen
 35 eingeschlossenen Luftdurchsatzöffnungen 40 hinweg
 20 verläuft, durch die hindurch eine optimale Wärmeabfuhr von
 der Ringspule 23 und den Statorjochen 24 und
 Rückschlußelementen 25 gewährleistet ist.

Die Statorjoche 24 und die Radialnuten 36 sind so aufeinander
 25 abgestimmt, daß bei in die Radialnuten 36 und 37 eingesetzten
 Statorjochen 24 und Rückschlußelementen 25 die beiden
 Halbschalen 31, 32 des Gehäuses 30 radial und axial
 unverschieblich fixiert sind. Hierzu sind die Statorjoche 24
 gegenüber den Ausführungsbeispielen in Fig. 1 - 3 modifiziert
 30 und weisen - wie es bei einem in Fig. 10 in Draufsicht und in
 Fig. 9 in Einsetzposition im Gehäuse 30 dargestellten

Statorjoch 24 zu sehen ist - an beiden Seiten ihres Querstegs
 243 jeweils einen nach außen radial vorspringenden Haken 41
 mit Hakenwurzel 411 und sich parallel zu den Jochschenkeln
 251, 252 erstreckendem Übergreifungslappen 412 auf, der bei
 5 in die Radialnut 36 eingestecktem Statorjoch 24 (Fig. 9)
 einen Radialsteg 35 in den beiden Halbschalen 31, 32 auf
 dessen von der Radialnut 36 abgekehrten Rückseite
 formschlüssig übergreift. Hierzu ist an dem im Außenring 34
 liegenden Ende jeder Radialnut 36 zur Aufnahme der
 10 Statorjoch 24 eine radiale Ausnehmung 42 in den Nutboden
 eingebracht, deren radiale Tiefe so bemessen ist, daß bei
 lagerichtig in die Radialnut 36 eingesetztem Statorjoch 24
 die Hakenwurzel 411 des Hakens 41 mit ihrer zum Innenring 33
 weisenden Unterkante im Grunde der Ausnehmung 42 anschlägt.
 15 Damit sind einerseits die Statorjoch 24 in Radialrichtung
 toleranzgenau positioniert und klammern andererseits mit den
 Übergreifungslappen 412 ihrer Haken 41 die beiden Halbschalen
 31, 32 aneinander.

20 Zur Sicherstellung eines selbsttätigen Anlaufs der Unipolar-
 Transversalflußmaschine wird diese mindestens zweisträngig
 ausgeführt, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Jedes
 Statormodul 14 wird dabei in dem vorstehend beschriebenen
 Gehäuse 30 aufgenommen, und die beiden Gehäuse 30 werden
 25 gegeneinander um 90° elektrisch verdreht axial
 aneinandergesetzt. Bei der 32-poligen Ausführung der
 Unipolar-Transversalflußmaschine entspricht der Drehversatz
 einem Drehwinkel von $5,625^\circ$ räumlich. Um diesen Drehversatz
 der Gehäuse 30 toleranzgenau zu gewährleisten, sind in den
 30 zwischen den Radialstegen 35 sich erstreckenden, die
 Luftdurchsatzöffnungen 40 nach außen begrenzenden

Ringabschnitten 341 des Außenrings 34 einer jeden Halbschale 31 bzw. 32 von der von den Radialnuten 36, 37 abgekehrten Außenseite der Halbschale 31 bzw. 32 aus zwei voneinander beabstandete, identische Radialaussparungen 43, 44

5 eingebracht. Die Breite der Radialaussparungen 43, 44 entspricht der Breite der an den Statorjochen 24 beidseitig vorspringenden Haken 41 und deren radiale Tiefe der axialen Abmessung der Haken 41. Der in Umfangsrichtung gesehene Abstand der Radialaussparung 43 zu der in Umfangsrichtung des

10 Gehäuses 30 nachfolgenden Radialnut 36 für ein Statorjoch 24 und der gleiche Abstand der Radialaussparung 44 zu der vorausgehenden Radialnut 36 für ein Statorjoch 24 entspricht dem Winkel, um den bei der zweisträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalfluß-maschine die beiden Statormodule 14

15 gegeneinander verdreht werden müssen. Bei der zweisträngigen Ausführung beträgt der genannte Abstand 90° elektrisch, also bei der 32-poligen Maschine $5,625^\circ$ räumlich. Bei einer mehrsträngigen Maschine beträgt dieser Drehwinkelversatz $360^\circ/m$, wobei m die Zahl der aneinandergesetzten Statormodule

20 14 und größer als 2 ist. Bei aufeinanderliegenden Halbschalen 31, 32 greifen die Haken 41 in die Radialaussparungen 43 oder 44 der benachbarten Halbschale des Gehäuses 30 vom nächsten Statormodul 14 ein, so daß beide Statormodule 14 in Umfangsrichtung genau positioniert sind.

25

Die Montage des Statormoduls 14 im Gehäuse 30 erfolgt durch Fügetechnik wie folgt:

Zunächst werden in einer Halbschale 31 alle Radialnuten 37 im

30 Innenring 33 mit den Rückschlußelementen 25 bestückt, wie dies in Fig. 9 in der unteren Halbschale 31 für ein

Rückschlußelement dargestellt ist. Danach wird die Ringspule 23 (Fig. 1) in die in Umfangsrichtung fluchtenden Vertiefungen 39 in den Radialstegen 35 eingelegt. Dann wird die andere Halbschale 32 auf die vormontierte Halbschale 31 aufgesetzt, wobei die aus der Halbschale 31 axial vorstehenden Rückschlußelemente 25 in die Radialnuten 37 der Halbschale 32 eindringen. Anschließend werden von außen her die Statorjoche 24 in die Radialnuten 36 eingeschoben, bis die Wurzeln 411 der vorspringenden Haken 41 im Grunde der Ausnehmungen 42 anschlagen, wobei gleichzeitig die Übergreifungslappen 412 die Radialstege 35 auf deren Rückseiten übergreifen und so die beiden Halbschalen 31, 32 in Achsrichtung miteinander verklemmen. Die Lage der Statorjoche 24 in den beiden Halbschalen 31, 32 ist in Fig. 9 für ein Statorjoch 24 in der unteren Halbschale 31 dargestellt.

Bei der mehrsträngigen Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine wird ein in gleicher Weise gefügter zweiter Statormodul 14 mit dem Gehäuse 30 an das erste Gehäuse 30 angesetzt, wobei - wie vorstehend beschrieben - die Haken 41 der Statorjoche 24 in die einen der Radialaussparungen 43 oder 44 des zweiten Gehäuses 30 eingreifen und die Verdrehung der Statormodule 14 um 90° elektrisch gegeneinander gewährleisten. Auf die beiden äußeren Halbschalen 31, 32 der insgesamt vier Halbschalen 31, 32 wird jeweils ein Lagerschild 45 zur Aufnahme der Rotorwelle 13 befestigt. Der Lagerschild 45 ist hälftig in Fig. 12 in perspektivischer Darstellung zu sehen. Zwei solche Lagerschildhälften 45 werden mit einem Flanschteil 46 auf dem Innenring 33 der Halbschale 31 bzw. 32 befestigt. Ein

rechtwinklig vom Flanschteil 46 abstehender Lagerstützen 47 nimmt das Drehlager für die Rotorwelle 13 (Fig. 1) auf.

Wie bereits vorstehend erwähnt, kann eine mehrsträngige Ausführung der Unipolar-Transversalflußmaschine auch in der
5 Weise realisiert werden, daß die fest nebeneinander angeordneten Statormodule 14 axial fluchtend ausgerichtet sind und die Rotormodule 15 um einen festen Winkel gegeneinander auf der Rotorwelle 13 verdreht angeordnet sind.
10 In diesem Fall ergibt sich die Möglichkeit, die Statorjoche 24 der in Achsrichtung nebeneinanderliegenden Statormodule 14 in ihrem Querstegbereich durch axial sich erstreckende Brücken 48 miteinander zu verbinden, wie dies für eine zweisträngige Ausführung in Fig. 11 dargestellt ist. Die
15 Statorjoche 24 mit Brücke 48 sind dabei als einstückige Stanzteile 49 ausgeführt. An den voneinander abgekehrten Außenseiten der Statorjoche 24 ist jeweils wiederum ein vorspringender Haken 41 angeordnet. Die Stanzteile 49 werden nach Vormontage in die miteinander fluchtenden Radialnuten 36
20 in den vier Halbschalen 31, 32 eingelegt, wobei die Brücken 48 in den radialen Ausnehmungen 42 in den beiden aneinanderliegenden Halbschalen 31, 32 einliegen und die vorspringenden Haken 41 jeweils die Radialstege 35 der beiden äußeren Halbschalen 31, 32 auf deren von den Radialnuten 36
25 abgekehrten Rückseite übergreifen.

In Fig. 13 ist eine Moduleinheit für eine als Hohlwellenversion ausgeführte 16-polige Universal-
Transversalflußmaschine dargestellt. Die Moduleinheit besteht
30 wiederum aus einem Statormodul 14 und einem Rotormodul 15, die beide wie vorstehend beschrieben aufgebaut sind, so daß

in Fig. 13 gleiche Bauelemente mit gleichen Bezugszeichen
versehen sind. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 13 sitzt
das Rotormodul 15 drehfest auf einer Hohlwelle 50. Die
komplette Unipolar-Transversalflußmaschine ist wie in Fig. 1
5 zweisträngig ausgeführt und besitzt demzufolge zwei
Moduleinheiten mit zwei Statormodulen 14 und zwei auf der
Hohlwelle 50 nebeneinander angeordneten Rotormodulen 15,
wobei das Statormodul 14 oder das Rotormodul 15 der zweiten
Moduleinheit wiederum um 90° elektrisch gegenüber der ersten
10 Moduleinheit verdreht ist.

Eine solche Hohlwellenversion der Unipolar-
Transversalflußmaschine eignet sich besonders vorteilhaft als
Antriebsmotor für eine elektronmechanische Radbremse, wie sie
15 beispielsweise in der WO 96/00301 beschrieben ist. Das vom
Antriebsmotor angetriebene Rotations/Translations-
Umsetzungsgetriebe ist dann im Innern der Hohlwelle 50
untergebracht, so daß eine extrem kleine Bauform der
Radbremse erzielt wird.

20 Selbstverständlich ist es möglich, die Unipolar-
Transversalflußmaschine gemäß dem Ausführungsbeispiel in Fig.
13 auch mehrsträngig, z.B. dreisträngig, auszuführen, doch
bietet die zweisträngige Ausführung hinsichtlich des
25 erforderlichen Platzbedarfs für die Unterbringung der
elektromechanischen Radbremse die größeren Vorteile.

5

10

15

Ansprüche

1. Unipolar-Transversalflußmaschine mit einem um eine Rotorachse (19) drehbaren Rotor (12), der mindestens ein
20 Rotormodul (15) aufweist, das aus jeweils zwei coaxialen, mit konstanter Zahnteilung gezahnten, ferromagnetischen Rotorringen (16,17) und einem zwischen den Rotorringen (16,17) eingespannten, in Richtung der Rotorachse (19) unipolar magnetisierten Permanentmagnetring (18)
25 zusammengesetzt ist, und mit einem zur Rotorachse (19) konzentrischen Stator (11), der mindestens ein dem Rotormodul (15) zugeordnetes Statormodul (14) aufweist, das aus einer coaxial zur Rotorachse (19) angeordneten Ringspule (23;23') und diese übergreifenden U-förmigen Statorjochen (24), die mit einer der Zahnteilung
30 entsprechenden Teilung an einem Gehäuse (10) festgelegt

sind, bestehen, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahnung der Rotorringe (16,17) ausschließlich an dem von der Rotorachse (19) abgekehrten Außenumfang der Rotorringe (16,17) vorgenommen ist, daß in dem Statormodul (14) die

5 Statorjoche (24) so angeordnet sind, daß der eine Jochschenkel (241) der Statorjoche (24) dem einen Rotorring (16) und der andere Jochschenkel (242) der Statorjoche (24) dem anderen Rotorring (17) jeweils mit

10 radialem Spaltabstand gegenübersteht, und daß zwischen in Drehrichtung des Rotors (12) aufeinanderfolgenden Statorjochen (24) jeweils ein Rückschlußelement (25;25') angeordnet ist, das sich axial über beide Rotorringe (16,17) erstreckt und diesen mit radialem Spaltabstand gegenübersteht.

15 2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (12) zwei gleiche Rotormodule (15) und der Stator (11) zwei gleiche Statormodule (14) aufweist und daß die Statormodule (14) axial nebeneinander in einem Gehäuse

20 (10) und die Rotormodule (15) axial nebeneinander auf einer Rotorwelle (13) in gegenseitiger Zuordnung jeweils so festgesetzt sind, daß die Statormodule (14) oder die Rotormodule (15) jeweils um 90° elektrisch gegeneinander verdreht sind.

25 3. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (12) m Rotormodule (15) und der Stator (11) m Statormodule (14) aufweist und daß die Statormodule (14)

30 axial nebeneinander in einem Gehäuse (10) und die Rotormodule (15) axial nebeneinander auf einer Rotorwelle

(13) in gegenseitiger Zuordnung jeweils so festgesetzt sind, daß die Statormodule (14) oder die Rotormodule (15) jeweils um $360^\circ/m$ elektrisch, wobei m eine ganze Zahl und größer als 2 ist.

5

4. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25;25') sowie die Rotorringe (16,17) lamelliert sind.

10

5. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückschlußelemente (25;25') um eine Polteilung zu den Statorjochen (24) versetzt angeordnet sind.

15

6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 5, dadurch gekennzeichnet, daß der radiale Spaltabstand zwischen den Statorjochen (24) und den Rotorringen (16,17) einerseits und zwischen den Rückschlußelementen (25;25') und den Rotorringen (16,17) andererseits gleich groß bemessen ist.

20

7. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 6, dadurch gekennzeichnet, daß die freie Stirnfläche (244) der Jochschenkel (241,242) der Statorjoche (24) mindestens die gleiche axiale Breite wie die Rotorringe (16,17) aufweisen, vorzugsweise über diese ein- oder beidseitig vorstehen.

25

30

8. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Statorjoche (24) und die Breite der Rückschlußelemente (25;25'), jeweils in Drehrichtung gemessen, in etwa gleich groß ist.

5

9. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Zahnbreite (b_{ZR}) der Zähne (22) an den Rotorringen (16,17) zur Breite (b_{ZS}) der Statorjoche (24), und Rückschlußelemente (25) jeweils in Drehrichtung gesehen, größer als 1 und kleiner als 2, vorzugsweise gleich oder kleiner 1,5, gewählt ist.

10

10. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückschlußelemente (25) C-Form mit zwei jeweils einem Rotorring (16,17) radial gegenüberliegenden kurzen Schenkeln (251,252) und einem diese miteinander verbindende Quersteg (253) aufweisen, der sich auf der der Rotorachse (19) zugekehrten Innenseite der kreisförmig ausgebildeten Ringspule (23) parallel zur Rotorachse (19) erstreckt.

15

20

11. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückschlußelemente (25') U-Form mit zwei jeweils einem Rotorring (16,17) radial gegenüberliegenden langen Schenkeln (251',252') und einem diese miteinander verbindenden, parallel zur Rotorachse (19) sich erstreckenden Quersteg (253') aufweisen und daß die Ringspule (23') des Statormoduls (14) in der Radialebene punktsymmetrisch zur Rotorachse (19) mäanderförmig derart geformt ist, daß sie aufeinanderfolgend abwechselnd zwischen den Jochschenkeln

25

30

(241,242) eines Statorjochs (24) hindurch und über die von der Rotorachse (19) abgekehrte Außenseite eines Querstegs (253') eines Rückschlußelements (25') hinweg verläuft.

5 12.Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25') identisch ausgebildet sind.

10 13.Maschine nach einem der Ansprüche 10 - 12, dadurch gekennzeichnet, daß die freie Stirnfläche (254 bzw. 254') der Schenkel (251, 252 bzw. 251', 252') der Rückschlußelemente (25 bzw. 25') zumindest die gleiche axiale Breite wie die Rotorringe (16, 17) aufweisen, vorzugsweise über diese ein- oder beidseitig vorstehen.

15 14.Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Statormodule (14) bipolar in Abhängigkeit vom Drehwinkel (θ) des Rotors (12) mit Stromimpulsen bestromt werden und daß die Stromimpulse in
20 den Statormodulen (14) bei zwei vorhandenen Statormodulen (14) um 90° und bei m vorhandenen Statormodulen (14) um $360^\circ/m$ gegeneinander phasenverschoben sind, wobei m eine ganze Zahl und größer 2 ist.

25 15.Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 14, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Statormodul (14) in einem aus zwei Halbschalen (31, 32) bestehenden Gehäuse (30) aufgenommen ist, die identisch ausgebildet und
30 spiegelsymmetrisch aufeinandergesetzt sind und axial miteinander fluchtende Radialnuten (36, 37) zum Einstecken einerseits der Statorjoche (24) und andererseits der

Rückschlußelemente (25) sowie spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegende konzentrisch zur Gehäuseachse (38) ausgerichtete Vertiefungen (39) zum Aufnehmen der Ringspule (23) aufweisen.

5

16.Maschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß jede Halbschale (31, 32) eine gitterartige Struktur mit einem Innenring (33) und einem dazu konzentrischen Außenring (34) aufweist, die durch Radialstege (35) einstückig miteinander verbunden sind, und daß die die Rückschlußelemente (25) aufnehmenden Radialnuten (37) im Innenring (33) eingebracht sind und die die Statorjoche (24) aufnehmenden Radialnuten (36) sich über Innenring (33), Radialsteg (35) und Außenring (34) erstrecken.

15

17.Maschine nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen (39) für die Ringspule (23) in die Radialstege (35) eingebracht sind.

20 18.Maschine nach einem der Ansprüche 15 - 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) und die sie aufnehmenden Radialnuten (36) so aufeinander abgestimmt sind, daß bei in den Radialnuten (36, 37) eingesetzten Statorjochen (24) und Rückschlußelementen (25) die beiden Halbschalen (31, 32) aneinander radial und axial unverschieblich fixiert sind.

25

19.Maschine nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Radialnuten (36, 37) auf die Dicke der Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25) abgestimmt ist und die axiale Tiefe der Radialnuten (36, 37)

30

geringfügig größer bemessen ist, als die halbe axiale Breite der Statorjoche (24) und Rückschlußelemente (25).

5 20. Maschine nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet,
daß die Statorjoche (24) an beiden Seiten ihres Querstegs
(243) jeweils einen vorspringenden Haken (41) aufweisen,
der bei in die Radialnuten (36) eingesteckten Statorjochen
(24) einen Radialsteg (35) der beiden Halbschalen (31, 32)
auf dessen von der Radialnut (36) abgekehrten Rückseite
10 formschlüssig übergreift.

15 21. Maschine nach Anspruch 20 in mehrsträngiger Ausführung,
bei der die Rotormodule (15) axial fluchtend auf der
Rotorwelle (13) angeordnet und die Statormodule (14)
gegeneinander um einen festen Winkel verdreht sind,
dadurch gekennzeichnet, daß in den zwischen den
Radialstegen (35) sich erstreckenden Ringabschnitten (341)
des Außenrings (34) der Halbschalen (31, 32) von der von
den Radialnuten (36) abgekehrten Außenseiten der
20 Halbschale (31) aus zwei voneinander beabstandete
Radialaussparungen (42, 43) eingebracht sind, deren Breite
in Umfangsrichtung der Breite der an den Statorjochen (24)
vorstehenden Haken (41) und deren radiale Tiefe der
axialen Abmessung der Haken (41) entspricht, und daß die
25 eine Radialausnehmung (43) um den festen Drehwinkel zu der
nachfolgenden Radialnut (36) für ein Statorjoch (24) und
die andere Radialausnehmung (44) um den gleichen festen
Drehwinkel zu der vorausgehenden Radialnut (36) für ein
Statorjoch (24) versetzt angeordnet ist.

22. Maschine nach Anspruch 18 oder 19 in mehrsträngiger Ausführung, bei der die Statormodule (14) axial fluchten und die Rotormodule (15) um einen festen Winkel gegeneinander verdreht auf der Rotorwelle (13) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorjoche (24) der in Achsrichtung nebeneinanderliegenden Statormodule (14) in ihrem Querstegbereich durch axial sich erstreckende Brücken (48) miteinander verbunden sind, daß die beiden außenliegenden der miteinander verbundenen Statorjoche (24) auf ihrer äußeren Seite jeweils einen vom Quersteg (243) vorspringenden Haken (41) aufweist, der bei in die Radialnuten (36) eingesteckten Statorjochen (24) einen Radialsteg (35) der beiden äußeren Halbschalen (31, 32) auf dessen von der Radialnut (36) abgekehrten Rückseite übergreift.

23. Maschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die über Brücken (48) miteinander verbundenen Statorjoche (24) als einstückige Stanzteile (49) ausgeführt sind.

24. Maschine nach einem der Ansprüche 20 - 23, dadurch gekennzeichnet, daß an dem im Außenring (34) liegenden Ende einer jeden Radialnut eine radiale Ausnehmung (42) in den Nutboden eingebracht ist, deren radiale Tiefe so bemessen ist, daß bei lagerichtig in die Radialnut (36) eingesetztem Statorjoch (24) die Hakenwurzel (411) des am Quersteg (23) vorspringenden Hakens (41) mit ihrer zum Innenring (33) weisenden Unterkante im Grunde der Ausnehmung (42) anschlägt.

25. Maschine nach einem der Ansprüche 15 - 24, dadurch gekennzeichnet, daß zur Drehlagerung der Rotorwelle (13) zwei Lagerschilde (45) auf die beiden außenliegenden Halbschalen (31, 32) aufgesetzt sind, die mit einem Flanschteil (46) auf den Halbschalen (31, 32) befestigt sind und in einem davon abstehenden coaxialen Lagerstutzen (47) die Rotorwelle (13) aufnehmen.

26. Maschine nach einem der Ansprüche 1 - 25, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Rotormodul (15) auf einer Hohlwelle (50) drehfest angeordnet ist.

5

10

Zusammenfassung

15 Bei einer Unipolar-Transversalflußmaschine weist zur
Erzielung eines fertigungstechnisch günstigen modularen
Aufbaus der Stator (11) und der Rotor (12) eine gleiche
Anzahl identischer Statormodule (14) und Rotormodule (15)
auf, wobei die Rotormodule (15) miteinander fluchtend auf der
20 Rotorwelle (13) festgesetzt und die Statormodule (14) im
Gehäuse (10) um einen Drehwinkel gegeneinander verdreht sind.
Der Drehwinkel beträgt bei zwei vorhandenen Statormodulen
(14) 90° elektrisch und bei m vorhandenen Statormodulen (14)
 $360^\circ/m$ elektrisch, wobei m eine ganze Zahl und größer 2 ist.
25 Jedes Statormodul (14) weist eine coaxial zur Rotorachse (19)
angeordnete Ringspule (23) und diese übergreifende U-förmige
Statorjoche (24) sowie zwischen diesen angeordnete
Rückschlußelemente (25) auf. Jedes Rotormodul (15) besteht
aus zwei Rotorringen (16,17) mit Außenverzahnung und einem
30 dazwischenliegenden, in Richtung der Rotorachse (19) unipolar
magnetisierten Permanentmagnetring (18) (Fig. 1).

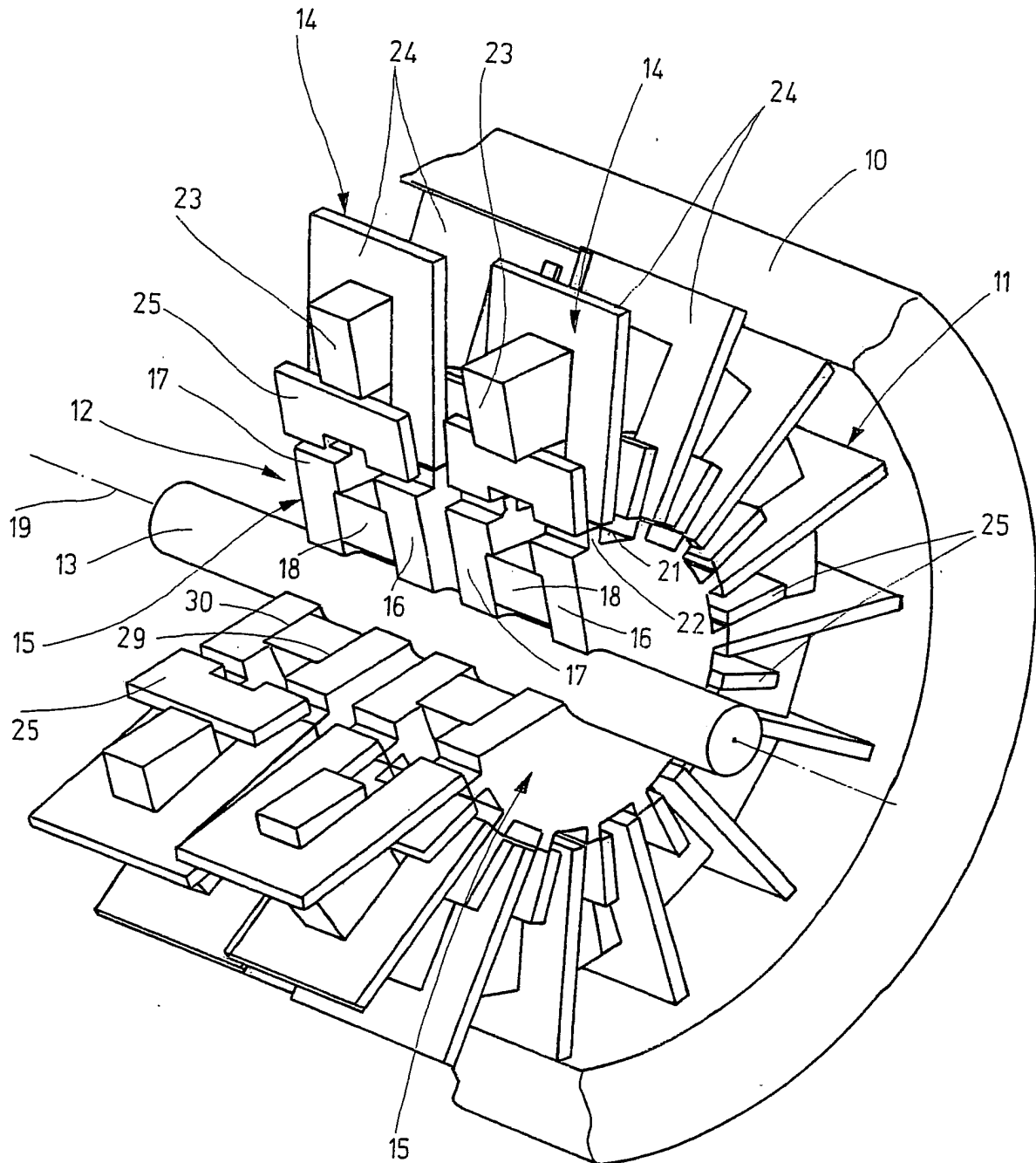
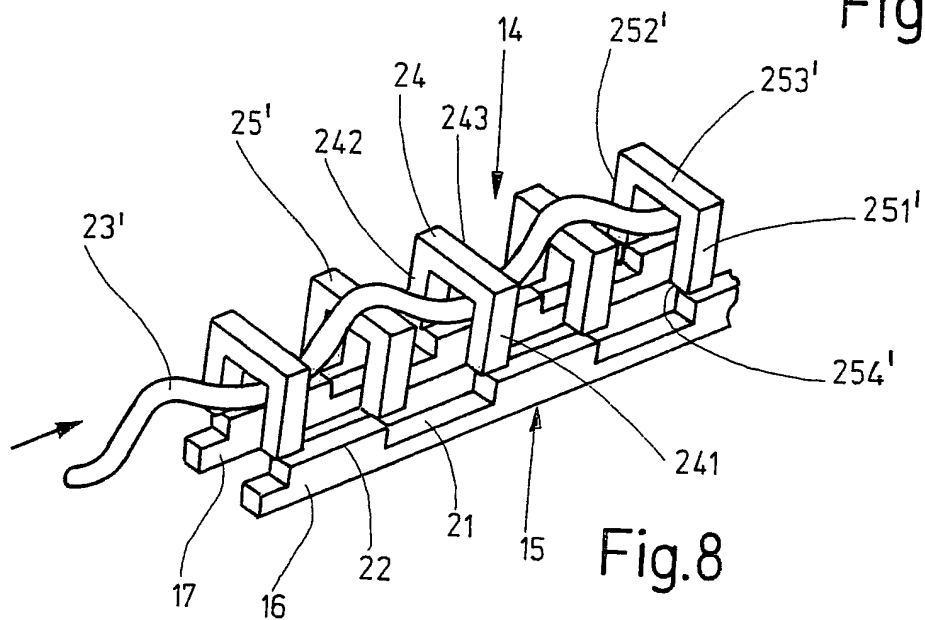
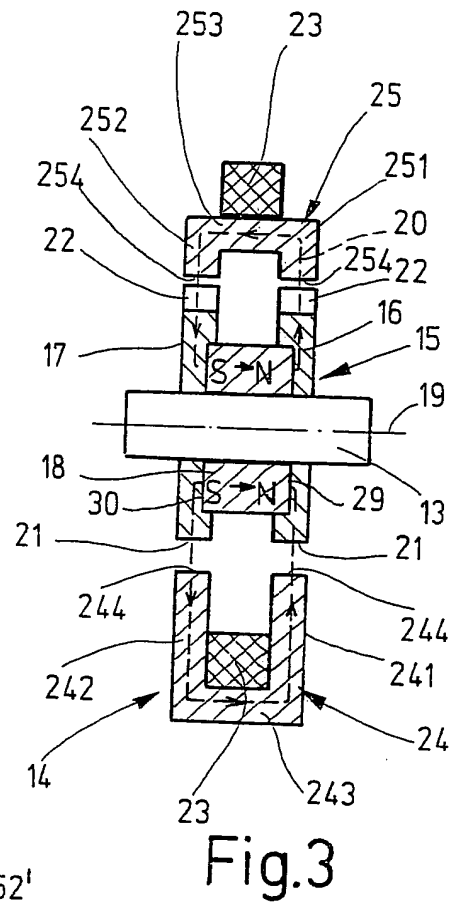
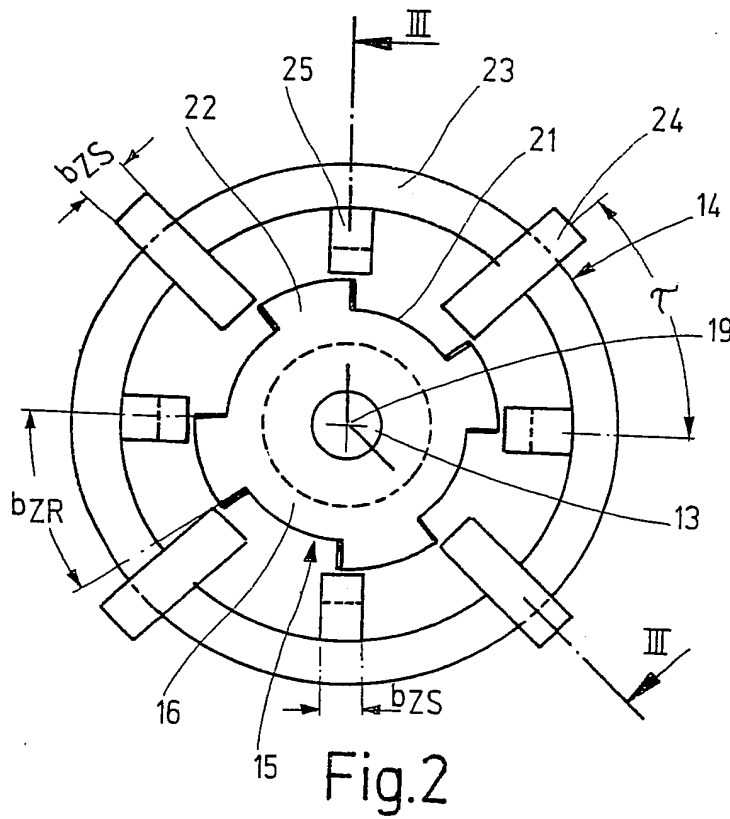
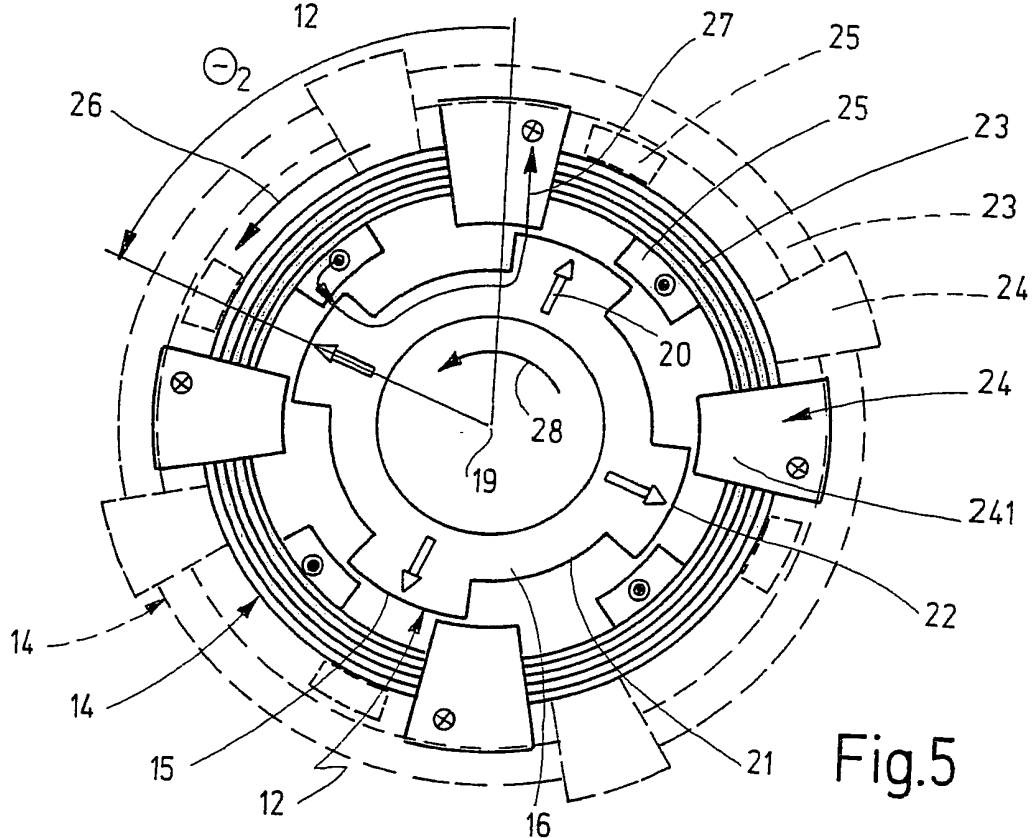
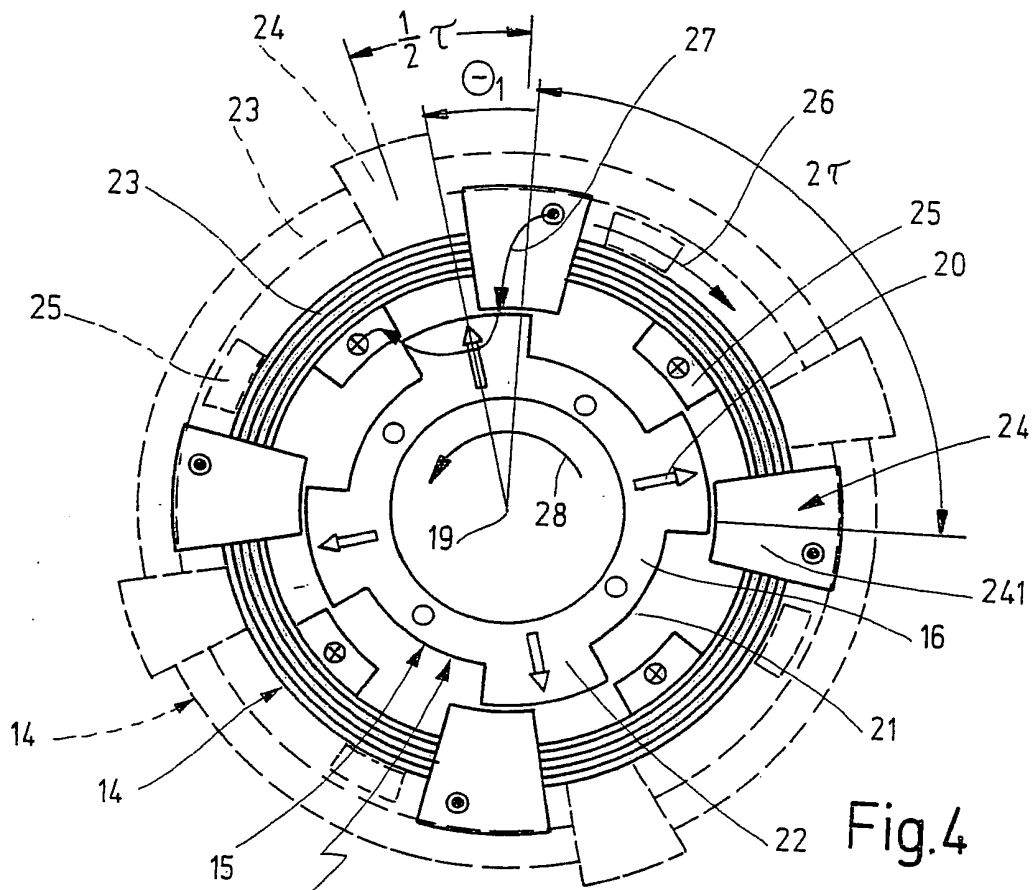


Fig.1





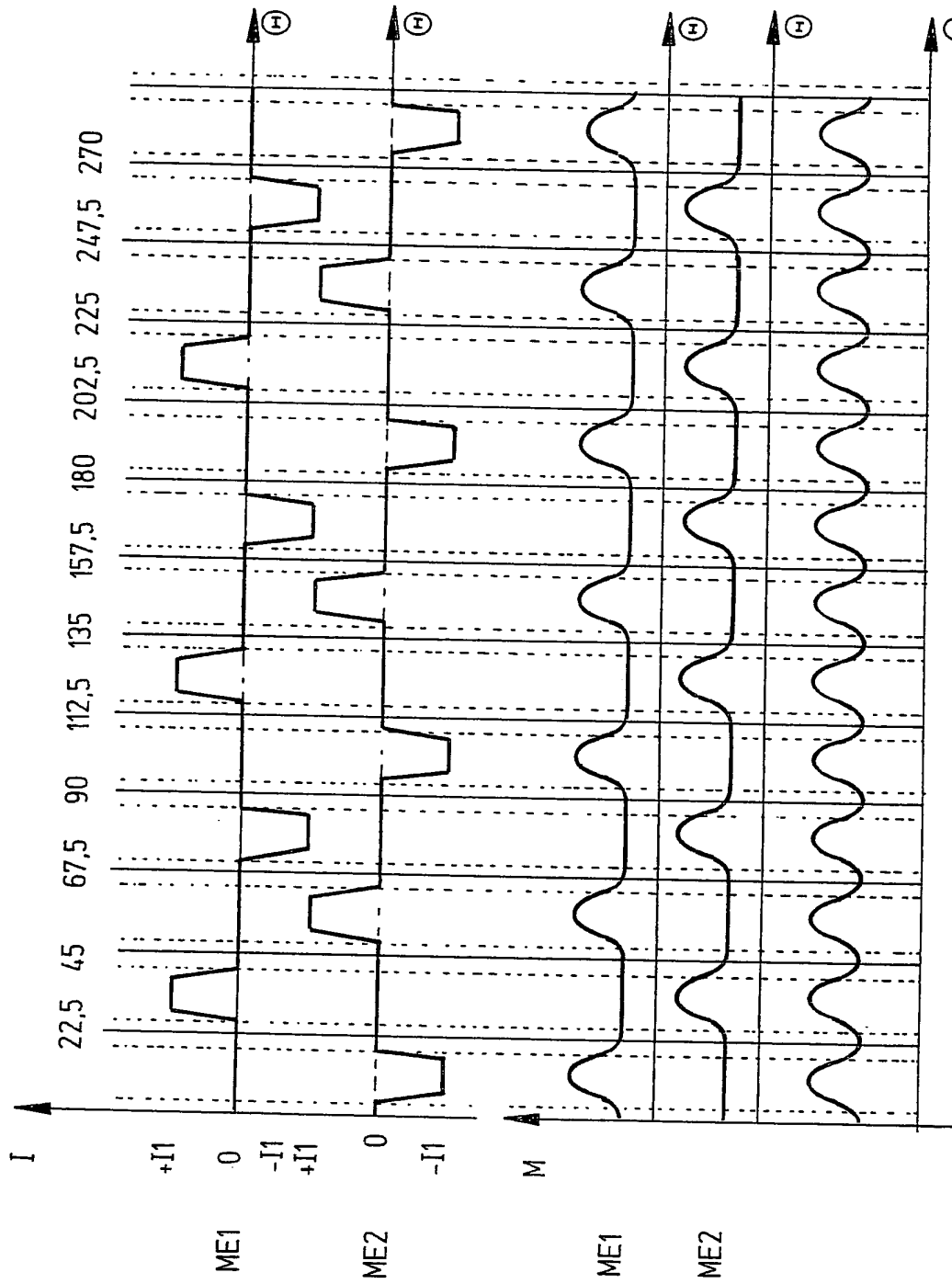


Fig. 6

Fig. 7

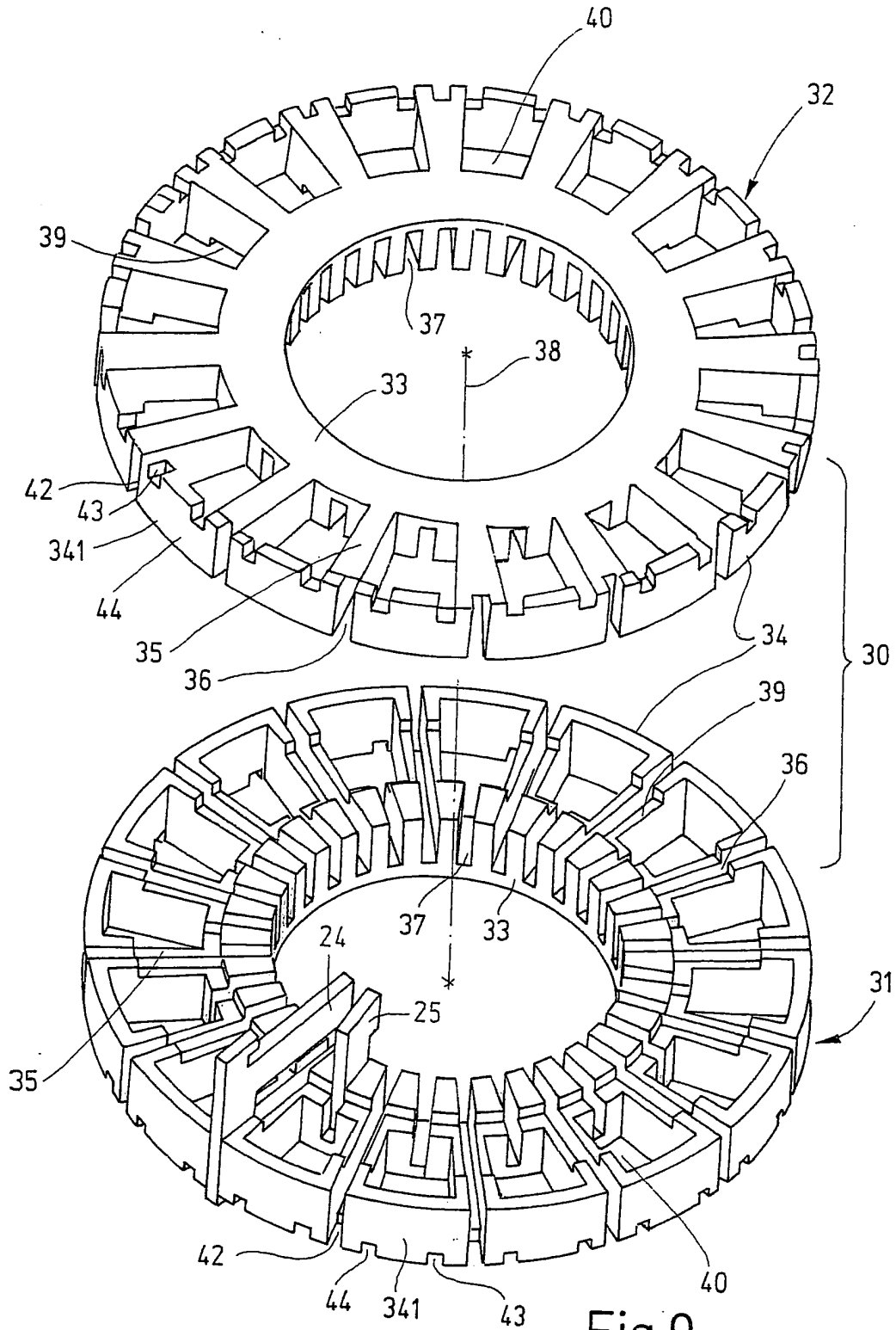
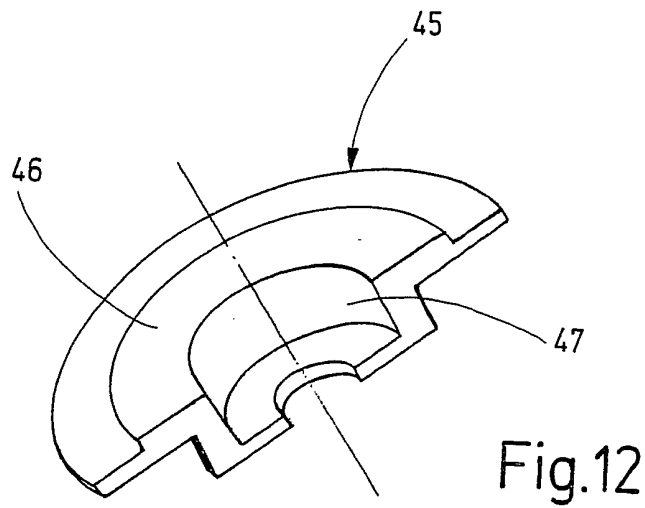
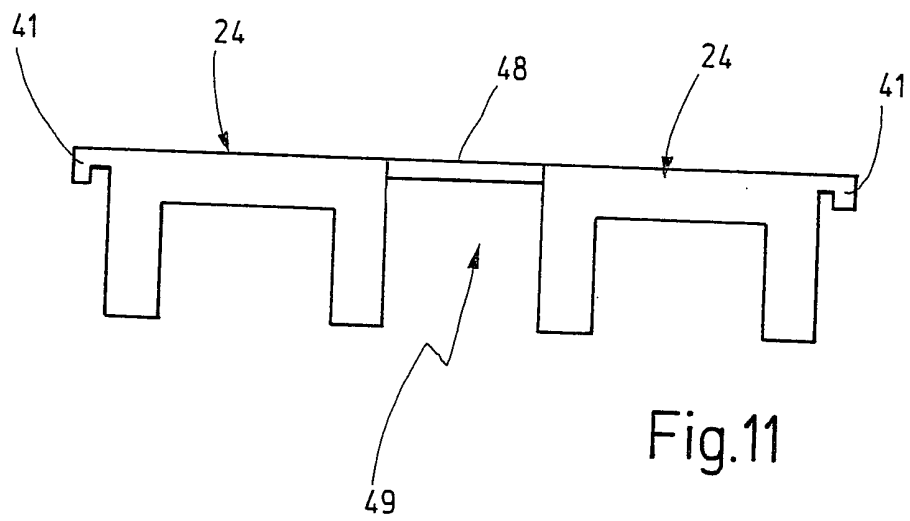
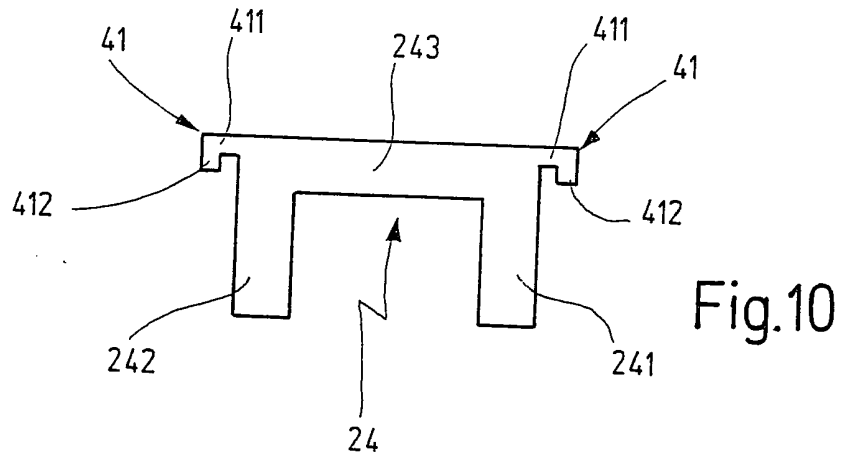


Fig.9



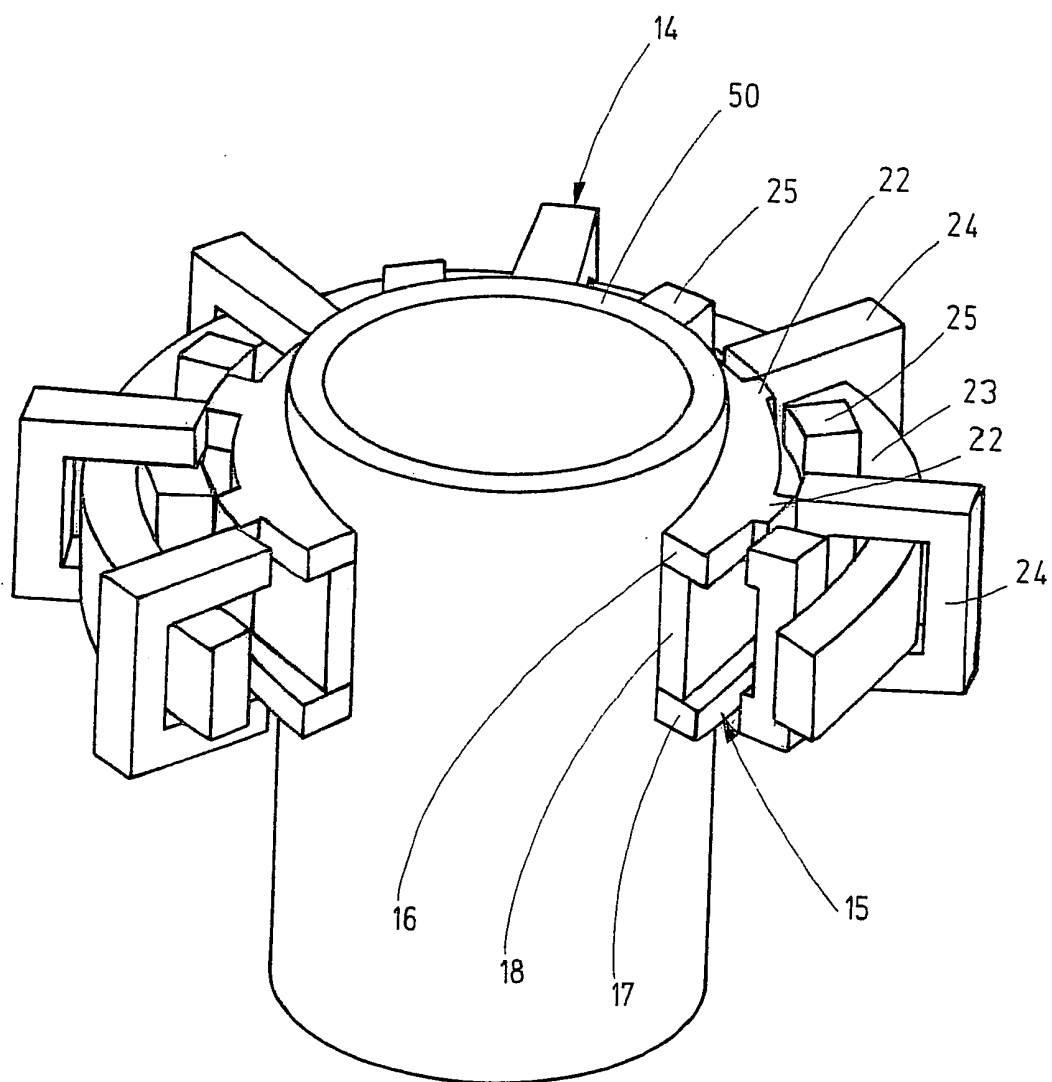


Fig.13